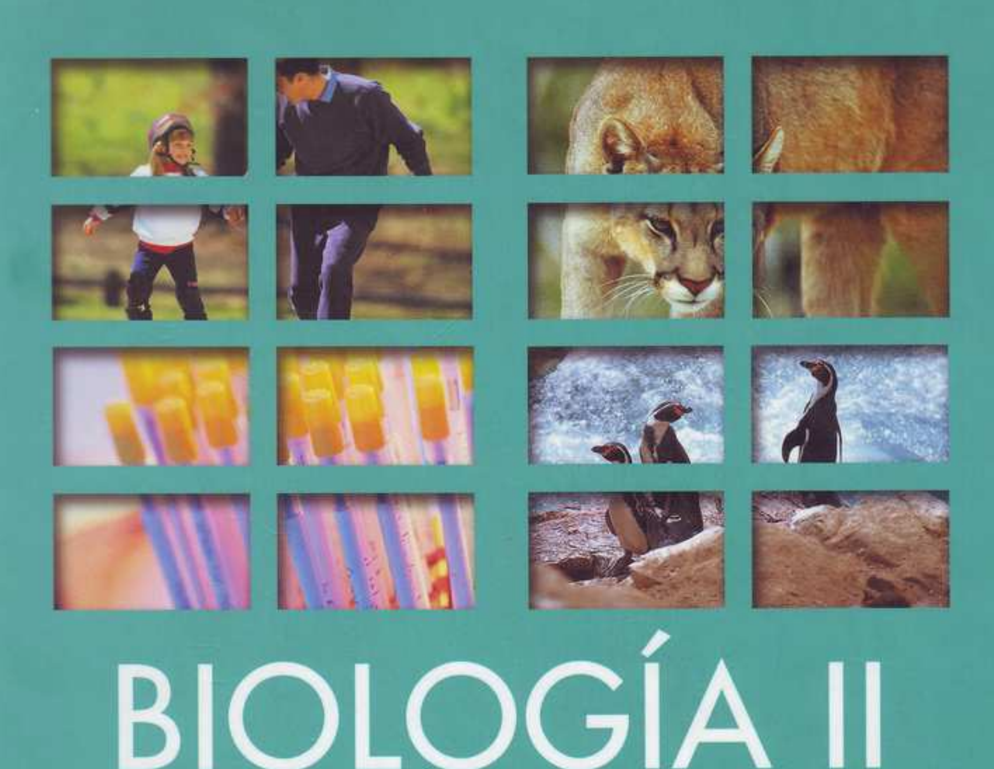
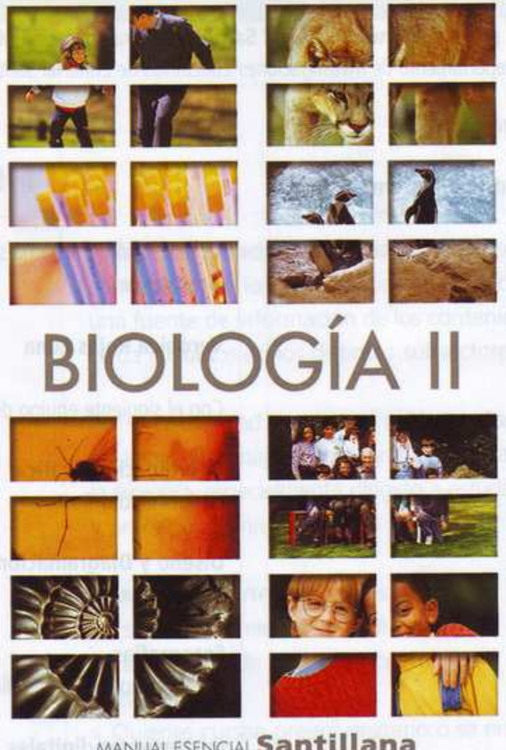


BIOLOGÍA II



MANUAL ESENCIAL **Santillana**



BIOLOGÍA II

MANUAL ESENCIAL **Santillana**

Mauricio Bravo Álvarez
Profesor de Biología, Universidad de Concepción.
Magíster (c) en Evaluación y Currículum,
Universidad de la República.

Patricia Castañeda Pezo
Profesora de Estado en Biología y Ciencias Naturales,
Universidad de Chile.
Magíster en Ciencias, Facultad de Ciencias,
Universidad de Chile.

Dante Cisterna Alburquerque
Ingeniero Agrónomo, mención Ciencias Vegetales,
Pontificia Universidad Católica de Chile.
Profesor de Biología y Ciencias Naturales,
Pontificia Universidad Católica de Chile.
Mg. (c) en Ciencias de la Educación, mención
Evaluación, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Luis Flores Prado
Profesor de Biología y Ciencias Naturales,
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.
Magíster en Entomología, Universidad Metropolitana
de Ciencias de la Educación.
Doctor en Ciencias (c), mención Ecología y Biología,
Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.

Fermín González Bergas
Cirujano Dentista, Universidad de Chile.
Magíster en Ciencias Odontológicas, mención
Periodontología, Facultad de Odontología,
Universidad de Chile.

Germán Manríquez Soto
Biólogo, Licenciado en Ciencias Biológicas,
Universidad de Jarkov, Ucrania.
Magíster en Ciencias Biológicas con mención en
Genética, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.
Doctor en Ciencias Biomédicas, Facultad de Medicina,
Universidad de Chile.

Carlos Osorio Abarzúa
Médico Cirujano. Universidad de Chile.
Doctor en Ciencias Biomédicas, Facultad de Medicina,
Universidad de Chile.

Ethel Velásquez Opazo
Bioquímica, Universidad de Santiago de Chile.
Doctora (c) en Ciencias Biológicas, mención Ciencias
Fisiológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile.

El material de **Biología II**, proyecto **Manual Esencial Santillana**, para Educación Media, es una obra colectiva, creada y diseñada por el Departamento de Investigaciones Educativas de Editorial Santillana, bajo la dirección de

Manuel José Rojas Leiva

Coordinación área Científico-Matemática
Gabriel Moreno Rioseco

Edición
Carol Valenzuela Caviedes
Paloma Villanueva Schulz

Ayudante de Edición
Karla Morales Aedo

Colaboradores
Patricia Berríos Torrejón
Raúl Fernández-Donoso
Adrián Ocampo Garcés
César Verdugo Lima

Corrección de Estilo
Isabel Spoerer Varela
Astrid Fernández Bravo

Documentación
Rubén Álvarez Almarza
Paulina Novoa Venturino

La realización gráfica ha sido efectuada bajo la dirección de

Verónica Rojas Luna

Con el siguiente equipo de especialistas:

Coordinación Gráfica
Carlota Godoy Bustos

Diseño y Diagramación
Mariela Pineda Gálvez

Fotografías
Archivo fotográfico Santillana

Ilustraciones digitales
Carlos Urquiza Moreno

Cubierta
Mariela Pineda Gálvez

Producción
Germán Urrutia Garín

ISBN: 978-956-15-1348-8 Inscripción Nº: 165.518
www.santillana.cl

Presentación

El **Manual Esencial Santillana** está concebido como una síntesis conceptual de los contenidos mínimos de la Educación Media, y una fuente de información de los contenidos de formación diferenciada incluidos en los distintos subsectores de aprendizaje.

Por su rigurosidad conceptual, el **Manual Esencial Santillana** constituye un apoyo al trabajo docente y al aprendizaje teórico y actualizado de la biología, especialmente dirigido a estudiantes de Educación Media y primer año universitario.

Principales aportes didácticos:

- Es una herramienta complementaria al texto escolar.
- Es una guía de apoyo conceptual para quienes no usan texto escolar.
- Quienes cursan preuniversitario o se encuentran preparando la PSU, encuentran en la colección todos los contenidos mínimos del subsector.
- Es un material de consulta para ramos de nivelación del primer año universitario, los que consideran muchos de los contenidos de la Educación Media.
- La presentación de los contenidos es práctica y funcional, para que el alumno lo pueda usar con facilidad.
- Los temas se presentan de una manera sintética, con apoyo de esquemas, tablas, gráficos, fotografías e ilustraciones que facilitan la comprensión de los contenidos.
- Se presentan ejercicios propuestos con sus respectivos solucionarios.

En definitiva, cada tomo del **Manual Esencial Santillana** tratará las grandes áreas temáticas de cada sector de aprendizaje, favoreciendo la visión integral de cada una de ellas.

Índice

Capítulo 3: Biología humana y salud 170

Tema

Anexos

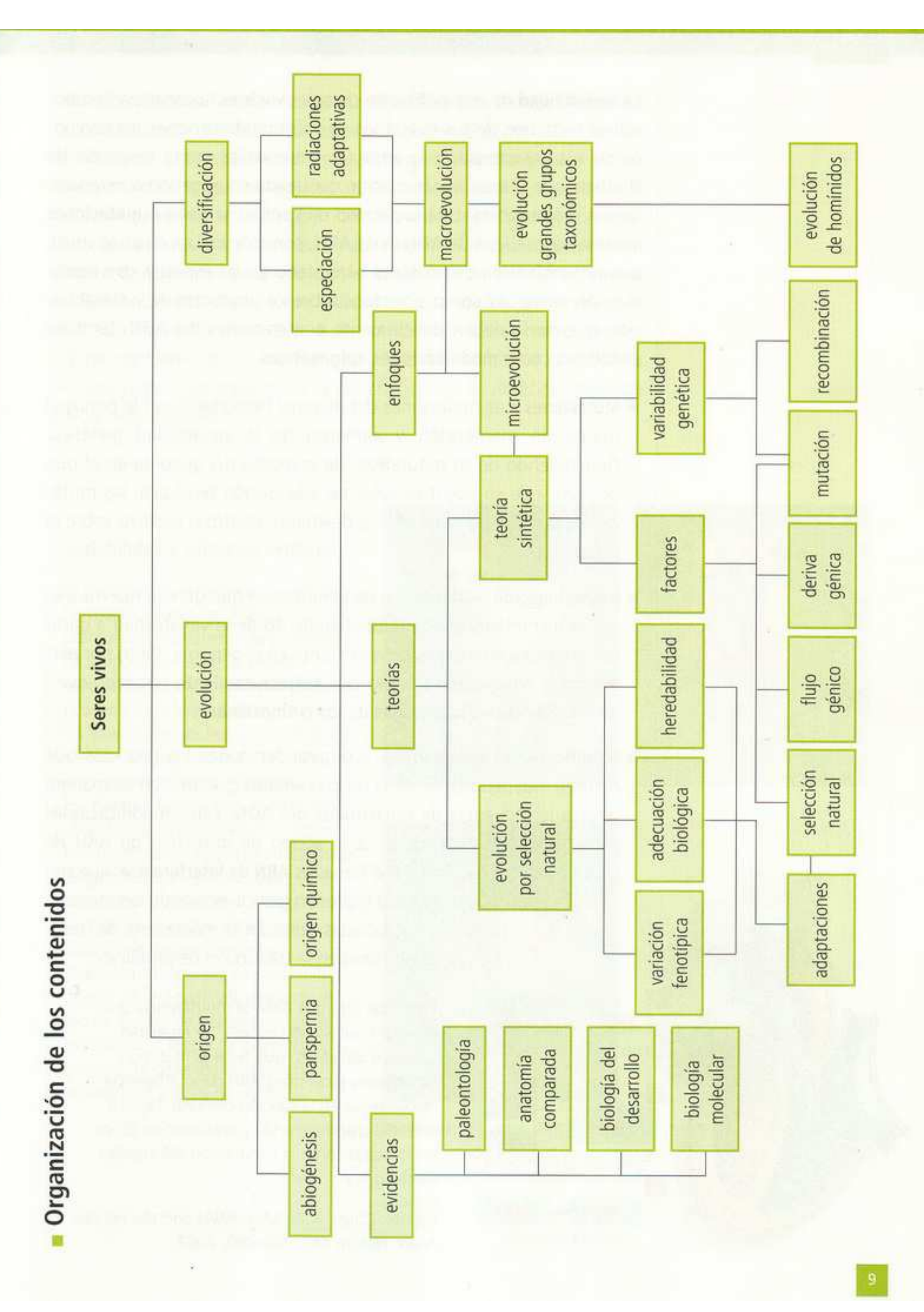
Capítulo

1

Variabilidad, herencia y evolución

La evolución de los seres vivos es un proceso ampliamente aceptado por la comunidad científica actual. Es así como existe un área de la ciencia dedicada exhaustivamente a su estudio: la biología evolutiva. Esta disciplina tiene como propósito general comprender los procesos involucrados en los cambios ocurridos en los seres vivos a través del tiempo. Uno de los enfoques investiga sobre las modificaciones en la composición genética de una población a través de las generaciones. Otros enfoques de mayor escala están relacionados con el estudio de las transformaciones ocurridas en una especie o en un grupo de especies emparentadas, durante extensos períodos de tiempo (miles de años), con los procesos de formación de especies y las relaciones de parentesco entre estas.

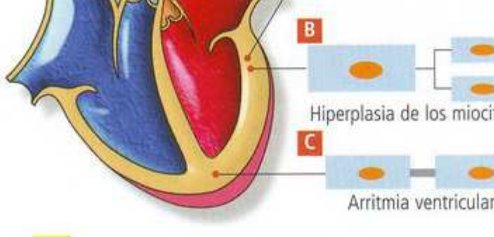
Un aspecto central en la biología evolutiva es estudiar los rasgos que aumentan las probabilidades de sobrevivivencia y reproducción de los organismos, e identificar cómo varían entre los seres vivos y cuánta de esta variación se hereda de padres a hijos. El descubrimiento de los trabajos de Mendel, el desarrollo de la biología molecular y de la genética de poblaciones durante el último siglo han aportado una explicación lógica y demostrable experimentalmente a estas interrogantes.



1 Variabilidad

La **variabilidad** de una población de seres vivos es la capacidad potencial de cada uno de sus miembros de sufrir modificaciones del conjunto de sus características o atributos observables como resultado de cambios que alteran la información contenida en el genoma heredado de sus progenitores. Esta capacidad de cambio se debe a **mutaciones** sobre las secuencias de ADN (o de ARN, como ocurre en muchos virus), a la **recombinación** del material hereditario en las especies con reproducción sexual, así como a cambios sobre los productos de la transcripción que no se deben directamente a alteraciones del ADN, también conocidas como **modificaciones epigenéticas**.

- **Mutaciones**. Las mutaciones del material hereditario son la principal fuente de mantención y aumento de la variabilidad genética. Dependiendo de su naturaleza, de la región del genoma en el que ocurren y de su eventual valor de adecuación biológica, las mutaciones pueden tener un efecto deletéreo, neutro o positivo sobre el organismo.
- **Recombinación**. A diferencia de la mutación que genera nuevos alelos, la recombinación permite el aumento de la variabilidad a partir de información hereditaria ya existente en el genoma, tanto por **permutación cromosómica** como por **entrecruzamiento** (*crossing-over*) **de las cromátidas homólogas de los cromosomas**.
- **Modificaciones epigenéticas**. Comprenden todos los procesos que ocurren independientemente de los cambios que afectan de manera directa la secuencia de nucleótidos del ADN. Estas modificaciones están asociadas, entre otras, a la acción de moléculas de ARN de pequeño tamaño (micro ARN) llamados **ARN de interferencia**, que son capaces de modular la expresión génica regulando la síntesis de proteínas involucradas tanto en la maquinaria de transcripción como en la traducción de proteínas.



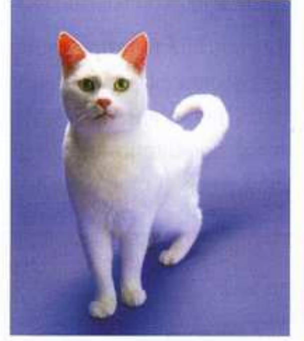
Efecto de distintos ARN de interferencia que regulan la actividad cardiaca. Se muestran ejemplos del efecto que tiene la mutación de distintas secuencias ARN de interferencia involucradas en la función cardiaca, tanto a nivel del crecimiento (A) y proliferación (B) de los miocitos como la conducción del impulso eléctrico (C) .

Fuente: Chien, K.R., *MicroRNAs and the tell-tale heart,* Nature 447: 389-390, 2007.

Cabe destacar que, a diferencia de la variabilidad, el término **variación** biológica se refiere a las modificaciones observadas de hecho en los miembros de una población de seres vivos como resultado de la acción de alguno o de todos los factores antes mencionados. Por ejemplo, la **variación genética** de una población se puede deber a la acción conjunta de la mutación y la recombinación genética, y **se mide como el número de variantes para uno o más genes (alelos), presentes en esa población**. Sin embargo, la **variabilidad** de esta misma población es el resultado esperado de la acción de los factores antes mencionados, independientemente de que tengamos conocimiento de que dichos factores hayan participado en la generación de la variación genética que se está midiendo.

Variabilidad y selección artificial

La mutación, la recombinación génica y las modificaciones epigenéticas son los procesos que determinan la variabilidad en las poblaciones de una misma especie. En la naturaleza estos procesos ocurren de manera constante; sin embargo, el ser humano ha logrado acelerar algunos de ellos y obtener nuevas variedades de individuos. Por ejemplo, las antiguas civilizaciones aplicaron técnicas de selección artificial, basadas en la realización de cruzamientos dirigidos. Como resultado, seleccionó a partir de la variabilidad natural de las plantas de cultivo y animales, obteniendo mejoras en ciertas características que van en su beneficio directo. En la actualidad, mediante el uso de técnicas de inseminación artificial, fertilización *in vitro* y de ingeniería genética, se obtienen nuevas cepas de vegetales y razas de animales.






Las diferentes razas de gatos son un ejemplo de cómo la práctica de la selección artificial y los cruzamientos dirigidos contribuyen a diversificar los fenotipos en las poblaciones de una misma especie.

2 Genotipo, fenotipo y alelos

El término **genotipo** se utiliza en genética para referirse al conjunto de genes heredados por un individuo y que permiten distinguir genéticamente a un individuo de otro. A diferencia del concepto más amplio de **genoma**, que involucra el total de información hereditaria presente en virus, bacterias, o en el núcleo y citoplasma de un organismo eucarionte, el genotipo se refiere al componente del genoma que tiene expresión fenotípica a nivel de alelos.

Los **alelos** corresponden a dos o más formas diferentes de un gen, que expresan variantes de un mismo carácter hereditario. Cuando los caracteres son discretos, representados solo por dos variantes, uno de los alelos puede ocultar la expresión del otro alelo, y reciben el nombre de **alelo dominante** y **alelo recesivo**, respectivamente. El alelo dominante se simboliza con letras mayúsculas (A, B, C), mientras que el alelo recesivo se simboliza con una letra minúscula (a, b, c).

El concepto de **fenotipo** se refiere al conjunto de atributos de un individuo reconocibles a simple vista o con ayuda de instrumentos, que resultan de la transcripción y traducción de secuencias codificantes del material hereditario, así como de la interacción de estos productos entre sí y con el medio ambiente.

Ejemplo de algunos conceptos de genética en el ser humano	
Concepto	**Ejemplo en *Homo sapiens***
Genoma	Cerca de 30.000 genes codificantes distribuidos en 23 pares de cromosmas, ADN mitocondrial y material hereditario intra y extranuclear organizado en secuencias de pequeño tamaño (secuencias altamente repetidas, plásmidos, transposones, segmentos de genoma viral y otros).
Fenotipo (a nivel de individuo)	Fenilcetonuria, enfermedad metabólica caracterizada por la acumulación en la sangre del aminoácido fenilalanina lo que interfiere en el normal desarrollo del sistema nervioso y tiene como resultado el retardo mental del individuo afectado. La acumulación de fenilalanina se debe a un defecto estructural en la enzima fenilalanina hidroxilasa responsable de la conversión de fenilalanina en tirosina.
Fenotipo (a nivel poblacional)	En Chile, la fenilcetonuria presenta una frecuencia de 1/14.000 nacidos vivos. A nivel mundial, esta cifra es, aproximadamente, de 1/10.000 nacidos vivos.
Genotipo	Mutación del gen para la enzima fenilalanina hidroxilasa, ubicado en el brazo largo del cromosoma 12.
Alelos	La forma más común de la enfermedad se debe a un alelo recesivo (p), originado por una mutación puntual que afecta la estructura de la enzima. El alelo P, dominante, está presente en los individuos que codifican la variante normal de la fenilalanina hidroxilasa.

En genética la relación entre un fenotipo y su genotipo se puede resumir mediante la "**ecuación fundamental de la genética**":

$$V_F = V_G + V_A$$

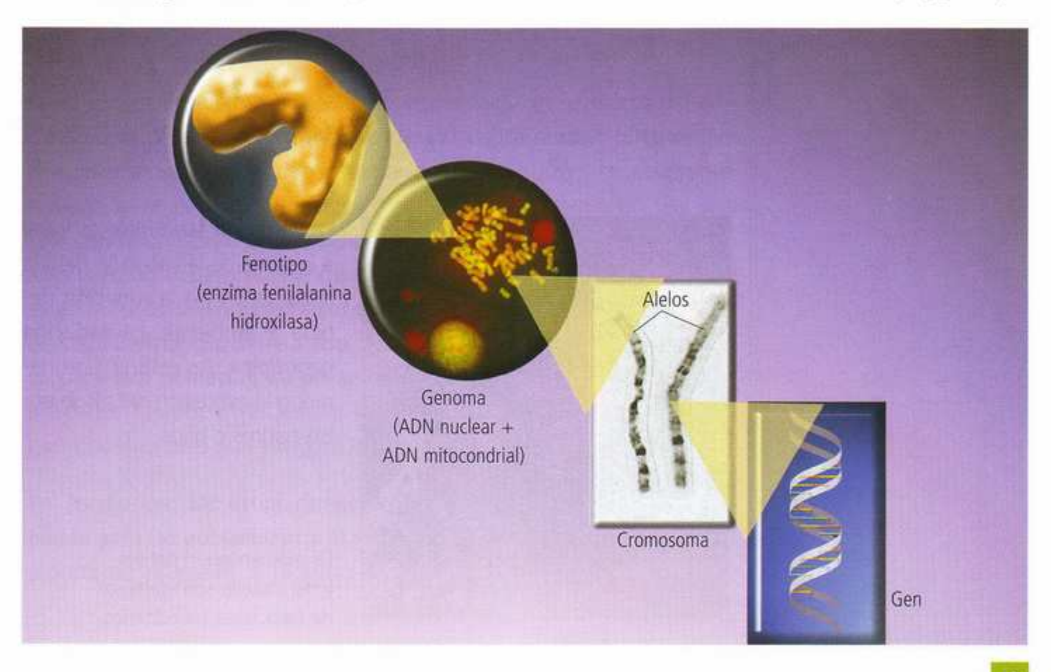
donde: V_F corresponde a una estimación de la variación del fenotipo (varianza fenotípica).
V_G corresponde a una estimación de la cantidad de variación fenotípica de los padres representada en los hijos (varianza genotípica).
V_A se refiere a la variación ambiental.

El aspecto que interesa de esta ecuación, es que la variación que exhibe un fenotipo respecto de un rasgo en particular se debe a la **interacción** entre el componente genético o genotipo que codifica para ese rasgo y el medio ambiente en el que dicho genotipo se está expresando. En este sentido, una versión más realista de esta ecuación incorpora una estimación de la suma de interacciones (covariación) genético–ambientales, adoptando la forma:

$$V_F = V_G + V_A + 2cov(GA)$$

donde cov(GA) corresponde a la interacción o covarianza (producto de las varianzas) genético-ambiental.

Plasticidad fenotípica.
A partir de la ecuación fundamental de la genética se puede inferir que dependiendo de la variedad de estímulos ambientales a los que se vea expuesto un mismo genotipo, este puede presentar más de un fenotipo. Esta propiedad del genotipo de expresar diferentes fenotipos en respuesta a distintas condiciones ambientales se denomina plasticidad fenotípica.



Niveles de organización del material genético y relación entre el fenotipo y genotipo.

3 Heredabilidad

La genética es una ciencia que está dedicada al estudio de **la transmisión de los caracteres o rasgos**, a través de las generaciones.

Se reconoce como **caracteres hereditarios** a cada una de las características que están codificadas en el ADN de los progenitores y pueden ser transmitidos a la descendencia (color de la piel, grupo sanguíneo, etc.).

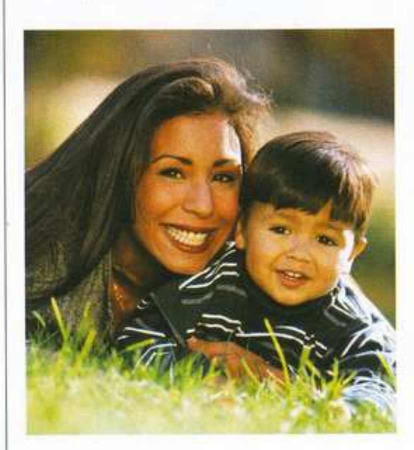
Los caracteres que resultan modificados por acción del medio ambiente en el transcurso de una misma generación, y que, por lo tanto, no se transmiten a las siguientes generaciones, como el peso o las enfermedades congénitas, o como aquellas que se transmiten por vía cultural, como por ejemplo, el lenguaje, reciben el nombre de **caracteres no hereditarios**.

En la medida en que el fenotipo es el resultado de la interacción entre la información codificada en los genes y su expresión en un ambiente en particular, es prácticamente imposible afirmar la existencia de caracteres hereditarios genéticamente "puros".

Una manera de conocer el grado en que influye el ambiente en un fenotipo es calculando la **heredabilidad** (H^2), índice que **permite estimar el porcentaje de variación debida al ambiente para un rasgo en particular**. Esta se calcula como la razón o proporción de la variación genotípica respecto de la variación total observada o fenotípica.

$$H^2 = V_G / V_F$$

donde H^2 = heredabilidad, V_G = variación genotípica, V_f = variación fenotípica.



La **variación fenotípica** es igual a la suma de la variación debida a los genes y a la variación debida al ambiente. La **variación genotípica** se estima comparando la expresión del rasgo entre padres e hijos.

La pigmentación del iris y del cabello son ejemplos de caracteres hereditarios.

El valor de heredabilidad en sentido amplio (H^2) se obtiene al comparar la expresión del fenotipo de interés entre parientes consanguíneos. Por ejemplo, en los estudios de heredabilidad se utiliza a menudo el **método de mellizos**, que consiste en comparar la **tasa de concordancia de un rasgo** entre mellizos monocigotos (gemelos) y dicigotos. La variación fenotípica entre mellizos monocigotos que crecen en distintos ambientes se supone explicada exclusivamente por el efecto del ambiente, y se utiliza como estimador del grado de heredabilidad al compararla con lo observado en mellizos dicigotos. Cuando la tasa de concordancia es mayor en mellizos monocigotos (gemelos) que en mellizos dicigotos, se espera que el rasgo tenga un componente genético importante.



Mellizos monocigóticos (gemelos). Individuos genéticamente idénticos que provienen de un único cigoto que da origen a dos embriones en el primer ciclo de mitosis.

Mellizos dicigóticos. Individuos que en su estado embrionario compartieron el mismo útero, pero provienen de la fecundación de dos ovocitos distintos genéticamente.

La siguiente tabla muestra resultados del método de mellizos respecto del componente hereditario en distintas patologías del ser humano:

Tasa de concordancia entre mellizos para distintas patologías (% de concordancia)		
Patología	**Mellizos monocigotos**	**Mellizos dicigotos**
Hipertensión arterial	63	36
Diabetes mellitus	32	3

Dado que es muy difícil controlar experimentalmente el efecto del ambiente durante el desarrollo de un ser humano, los resultados obtenidos al estimar el valor de H^2 deben tomarse con precaución, especialmente cuando se refieren a conductas complejas sobre las que no hay una sola definición desde el punto de vista fenotípico, como la inteligencia. Más aún, no debe olvidarse que el grado de "influencia genética" se está siempre midiendo respecto de una **población** de organismos y no de cada individuo por separado. Además, la heredabilidad es **específica para una población en un ambiente determinado**; por ende, este indicador tampoco nos señala las posibles causas de las diferencias entre poblaciones que viven en ambientes distintos.

En conclusión, **las estimaciones de heredabilidad son válidas únicamente para las poblaciones y el momento en que se tomaron los datos** a partir de los cuales se hicieron los cálculos.

4 Trabajos y principios de Mendel

Conceptos básicos

- **Locus**. Loci en plural. Es el lugar que ocupa un gen en un cromosoma; para todo locus puede haber varios alelos posibles.
- **Homocigoto o línea pura**. Individuo que tiene para un carácter determinado los dos alelos idénticos. Se simboliza con parejas de letras iguales (aa, AA, etc.).
- **Heterocigoto o híbrido**. Individuo que tiene para un carácter determinado los dos alelos distintos. Se simboliza con parejas de letras, una mayúscula y la otra minúscula (Aa, Bb, etc.).
- **Gameto**. Cada una de las células sexuales que se unirán con las del otro sexo en la fecundación para dar lugar a un nuevo individuo. Para cada carácter lleva un solo alelo.
- **Cigoto**. Es el resultado de la unión de los dos gametos. Para cada carácter posee dos alelos.

Esquemas de genética

- **Cruzamiento o cruce**. Simboliza la unión sexual de una pareja y la descendencia probable. Se indican los fenotipos y genotipos de los padres y el genotipo de los gametos que produce cada uno. Luego se obtienen las combinaciones posibles entre los gametos del padre y la madre y los hijos resultantes con sus genotipos, fenotipos y sus porcentajes.
- **Cuadro de Punnett**. Al igual que el cruzamiento simboliza la unión sexual entre los progenitores y su descendencia probable. Se utiliza cuando la obtención de los genotipos de los hijos no es tan sencilla al tener muchos más gametos posibles. En la primera columna se colocan los gametos de un progenitor y en la primera fila, los del otro progenitor, y en las casillas, los genotipos de los hijos obtenidos. Los porcentajes de los fenotipos y genotipos obtenidos se pueden poner aparte.

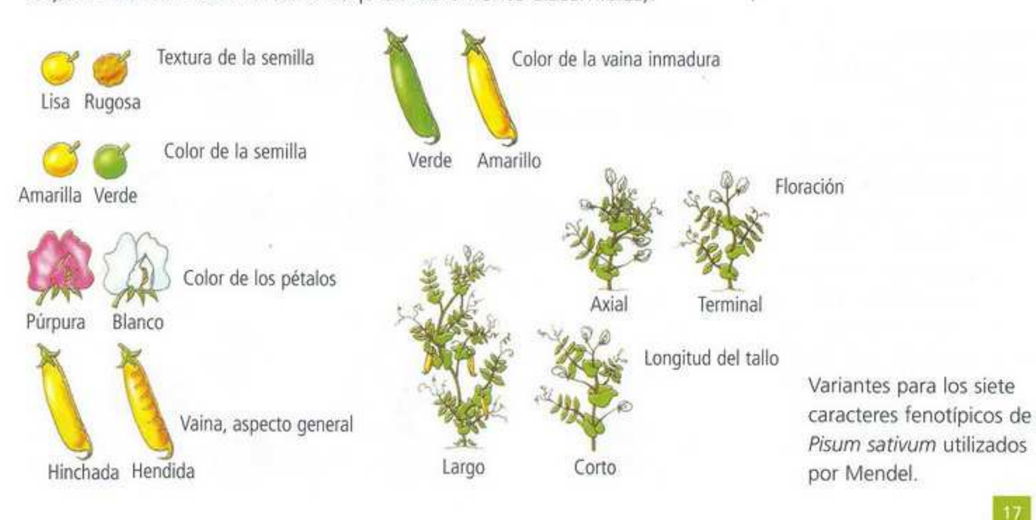
Gametos progenitor 1 →

Gametos progenitor 2 ↓	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Experimentos de Mendel

Hace mucho tiempo que los seres humanos asumen que su parecido con sus progenitores se debe a la herencia de ciertos rasgos. Según la idea predominante hasta mediados del siglo XIX, la herencia era un fenómeno determinado por la presencia de "gémulas" o estructuras originadas en todos los tejidos del organismo adulto, reunidas en el torrente sanguíneo, desde donde eran depositadas en los órganos reproductivos (teoría de la herencia por pangenésis). La comprensión de los principios biológicos que explican la herencia comenzó con el estudio de los **híbridos** en especies vegetales. Uno de sus precursores fue **Gregor Mendel**, monje del monasterio agustino de la ciudad de Brno, quien realizó, entre 1856 y 1865, una serie de experimentos con la arveja de jardín (*Pisum sativum*), con el objetivo de "establecer una ley cuantitativa que permita resolver el problema de la transmisión de los caracteres parentales a los híbridos".

Un aspecto central del trabajo de Mendel fue **la rigurosidad en el diseño de los experimentos**. Esto se refleja en la elección del material para realizar los cruzamientos (la utilización de plantas dioicas, es decir, capaces de autofecundarse, que produjeran ejemplares "puros" para un determinado rasgo y que tuvieran un gran número de descendientes en poco tiempo); un exhaustivo control de las condiciones experimentales; además, el uso de un sistema de notación universal para poner a prueba sus hipótesis (una misma letra del alfabeto para cada carácter fenotípico: A = variante dominante, a = variante recesiva, etc.); y el registro exhaustivo de los datos (cerca de 20.000 semillas, flores y plantas analizadas respecto de siete caracteres fenotípicos claramente discernibles).



Variantes para los siete caracteres fenotípicos de *Pisum sativum* utilizados por Mendel.

Cruzamiento monohíbrido

El primer experimento realizado por Mendel consistió en el cruzamiento dirigido de dos plantas **homocigotas** (**líneas puras**) para un mismo carácter. Este tipo de cruzamiento se denomina **cruzamiento monohíbrido**. Por ejemplo, escogió el carácter "color de la semilla", que podía ser verde o amarilla. (Para asegurarse de que una planta era homogocita, Mendel la cruzaba consigo misma y vigilaba que todos sus descendientes fueran iguales a la progenitora).

Progenitores	Fenotipo	Amarillo	Verde
	Genotipo	*AA*	*aa*
	Gametos	*A* 100 %	*a* 100 %
Descendencia F_1	Genotipo	*Aa*	
	Fenotipo	Amarillo	

100 % descendientes amarillos

El cruzamiento de dos plantas homocigotas para un mismo carácter dio como resultado en la primera generación (F_1) plantas híbridas con su genotipo heterocigoto y su fenotipo uniforme (todas las semillas amarillas). Mendel supuso que las plantas progenitoras tenían una dotación doble o diploide de variantes para el carácter "color de semilla": uno dominante que corresponde al color amarillo (A) y otro recesivo que corresponde al verde (a), y que, por lo tanto, los descendientes deberían recibir la mitad de factores hereditarios de cada padre.

Posteriormente, al cruzar entre sí las plantas heterocigotas (F_1) comprobó que en la segunda generación de descendientes (F_2) se obtenía una **proporción genotípica de: 1AA : 2Aa : 1aa** y una **proporción fenotípica de 3 amarillos : 1verde**.

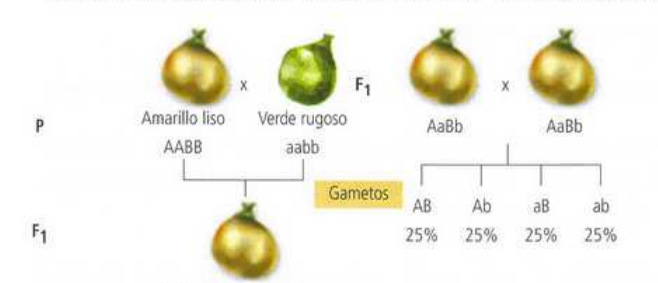
F_1	Fenotipo	Amarillo		Amarillo	
	Genotipo	*Aa*		*Aa*	
	Gametos	*A* 50 %	*a* 50 %	*A* 50 %	*a* 50 %
F_2	Genotipo	*AA*	*Aa*	*Aa*	*aa*
	Fenotipo	75 % amarillos			25 % verdes

Primer principio mendeliano (principio de segregación).
Se establece a partir de los cruzamientos monohíbridos. Según este principio, los factores de la herencia que informan sobre un mismo carácter segregan de manera equitativa durante el proceso de formación de gametos; es decir, se separan a las células hijas con la misma probabilidad, lo que explica la reaparición de los rasgos recesivos en el segundo cruzamiento.

Cruzamiento dihíbrido

Al analizar la herencia de dos caracteres al mismo tiempo, como, por ejemplo, color (amarillo o verde) y textura (lisa o rugosa) de la semilla, Mendel se encontró con los siguientes resultados:

- Si partía de un cruzamiento entre plantas homocigotas para ambas características, semillas amarillas y lisas (AABB) y semillas verdes y rugosas (aabb), obtenía una descendencia (F_1) 100% color amarillo y textura lisa.
- Al cruzar los híbridos de la F_1 obtenía una descendencia (F_2) con todos los fenotipos posibles en las proporciones: 9/16 amarillos y lisos; 3/16 amarillos y rugosos; 3/16 verdes y lisos; 1/16 verdes y rugosos.



F_2 Gametos	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Amarillo liso · Verde liso · Amarillo rugoso · Verde rugoso



Según Mendel, las características de un individuo son entregadas a su descendencia a través de pares de factores hereditarios que se separan de manera independiente en la formación de gametos.

Segundo principio mendeliano (principio de distribución independiente).
Surge de los resultados obtenidos en los cruzamientos dihíbridos. Según este principio, cuando se consideran dos o más caracteres y, por ende, dos o más pares de factores hereditarios (alelos), estos se transmiten a la siguiente generación de manera independiente, es decir, la conducta de un par de factores para el mismo carácter no influye en la conducta de otro par de factores.

5 Teoría cromosómica de la herencia

La meiosis y los principios mendelianos de la herencia

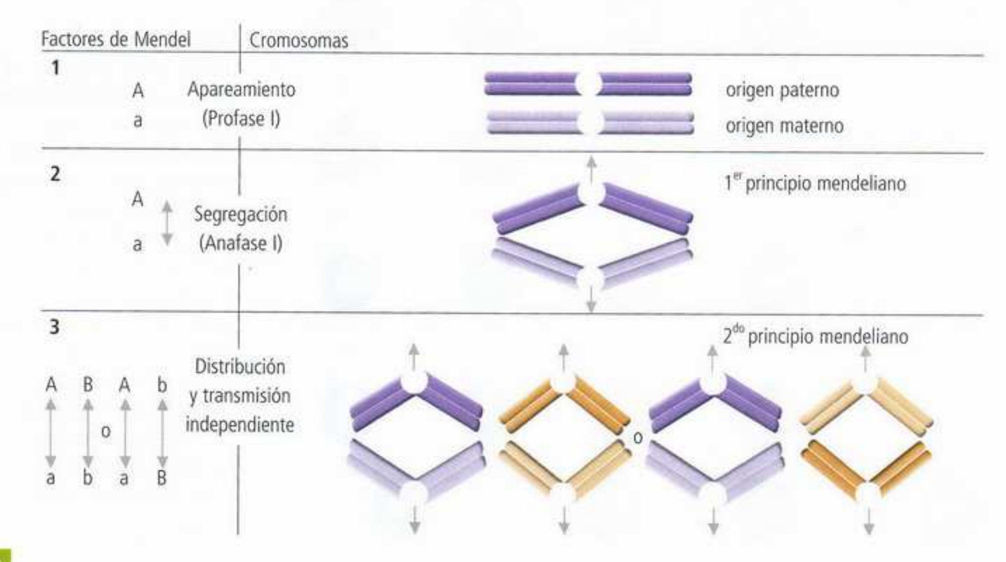
El trabajo de Mendel (publicado en 1865) pasó desapercibido hasta 1900, cuando **Hugo de Vries**, **August von Tschermak** y **Carl Correns**, por separado, realizaron investigaciones que los llevaron a las mismas conclusiones de Mendel.

Luego, en 1902, **Walter Sutton** y **Theodor Boveri** observaron que la conducta de los cromosomas durante la meiosis coincidía con la conducta de los factores de la herencia, tal y como fue predicho por Mendel.

El paralelismo entre lo propuesto por Mendel y la conducta de los cromosomas eran los siguientes:

1. El carácter diploide de los cromosomas y el número par de los alelos.
2. La segregación equitativa de las variantes o alelos de un mismo gen en los gametos, al igual que lo hacen los cromosomas homólogos durante la anafase de la meiosis I.
3. La independencia o ausencia de influencia de la conducta de los miembros de un par de cromosomas, sobre los miembros de otro par de cromosoma durante la meiosis, y la independencia en la transmisión de los alelos responsables de distintos caracteres fenotípicos.

Esquema comparativo de la conducta de los factores de la herencia mendelianos y los cromosomas durante la meiosis.



Así, los hallazgos citogenéticos obtenidos durante la primera década del siglo XX sugerían fuertemente que los genes se ubicaban en los cromosomas. Sin embargo, no se habían obtenido las evidencias necesarias que permitieran contrastar positivamente esta hipótesis. La introducción de la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*) en los protocolos experimentales de la genética permitió resolver este problema, y permitió establecer las bases de la **teoría cromosómica de la herencia**, cuyo hito más importante lo constituyeron los trabajos en *Drosophila* encabezados por **Thomas H. Morgan**. De acuerdo con la teoría cromosómica de la herencia, los **factores mendelianos de la herencia (genes)**:

Thomas Morgan.

1. Son entidades de naturaleza físico-química, **localizadas en los cromosomas**.
2. **Se ordenan en una secuencia lineal**, de modo que la distancia entre dos puntos en el cromosoma se corresponde con la distancia que separa a los genes localizados en esos puntos o loci.
3. **Sufren mutaciones al azar**, incrementando la variación genotípica de las poblaciones de seres vivos.
4. Son condición necesaria, aunque no suficiente, para la expresión fenotípica.

Estos enunciados, que hoy pueden parecer obvios, tuvieron profundas consecuencias en el desarrollo de la genética al otorgar un marco teórico para conocer la estructura, modo de reproducción, transmisión y modificación del material hereditario, así como para construir mapas con la ubicación de los genes en los cromosomas llamados **mapas genéticos***.

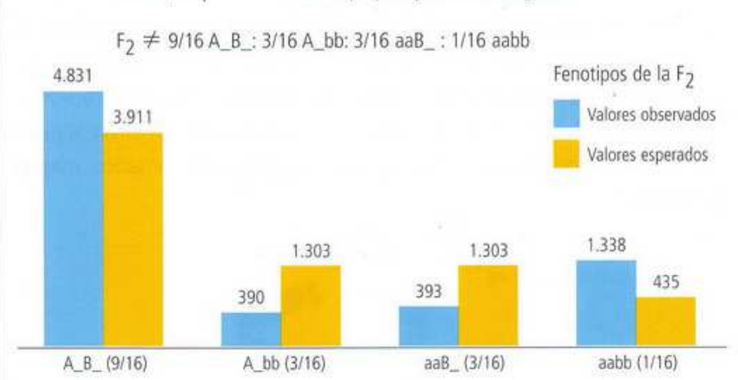
***Mapeo cromosómico o mapeo de genes**. Consiste en asignar loci a cromosomas específicos mediante distintas técnicas basadas en el **análisis de fenotipos**, **análisis de bandas de ADN** y la obtención de **células somáticas híbridas** mediante la unión *in vitro* de sets cromosómicos provenientes de células somáticas de ratón y humano. Los mapas cromosómicos sirven de punto de partida para resolver una serie de problemas biomédicos y de la industria, incluyendo el aislamiento de genes responsables de enfermedades que afectan al ser humano.

6 Ligamiento

En ciencia **el hallazgo de resultados diferentes a los esperados amerita mayor atención que el hallazgo de resultados que coinciden con lo esperado**, según los postulados teóricos predominantes. A esta situación se enfrentaron, a inicios de la década de 1900, los investigadores **William Bateson** y **Reginald Punnett**, cuando en la progenie del cruzamiento entre individuos de la planta ornamental *Lathyrus odoratus* observaron proporciones fenotípicas muy distintas a las esperadas según Mendel. En lugar de las proporciones esperadas en la F_2 de un cruzamiento dihíbrido mendeliano típico, donde las líneas homocigotas parentales eran de pétalos púrpura (A) y semillas alargadas (B) o de pétalos rojos (a) y semillas redondas (b); ellos obtuvieron un **exceso de fenotipos parentales (A_B_ y aabb) en comparación con los fenotipos recombinantes (A_bb y aaB_)**, es decir, distintos a los fenotipos parentales.

Fenotipo	Pétalos púrpura y semillas alargadas		Pétalos rojos y semillas redondas
Genotipo	AABB	x	aabb
Gametos	AB		ab
Genotipo	AaBb		
Fenotipo F_1	Pétalos púrpura y semillas alargadas		

$F_2 \neq$ 9/16 A_B_: 3/16 A_bb: 3/16 aaB_ : 1/16 aabb



Para explicar sus resultados, Bateson y Punnett propusieron que en el autocruzamiento de la F_1 se producían más gametos portadores de las variantes parentales (AABB y aabb) que lo esperado por simple azar, según el principio mendeliano de transmisión independiente. La causa de este resultado se debería, según estos investigadores, al "**acoplamiento" físico entre alelos dominantes y recesivos**. Sin embargo, Bateson y Punnett no pudieron explicar este fenómeno.

La solución al problema de los genes "acoplados" fue propuesta por Morgan y sus colaboradores, al aplicar el método de los **cruzamientos de prueba**, basado en el uso de individuos homocigotos recesivos para todos los genes cuyo patrón de transmisión se desea conocer. El estado recesivo permite revelar el genotipo de los individuos fenotípicamente dominantes, es decir, permite distinguir si estos son homocigotos (AABB) o heterocigotos (AaBb). Así, en un cruzamiento A_B_ x aabb, las proporciones fenotípicas observadas en la F_2 reflejan la composición alélica de los gametos aportados por los heterocigotos.

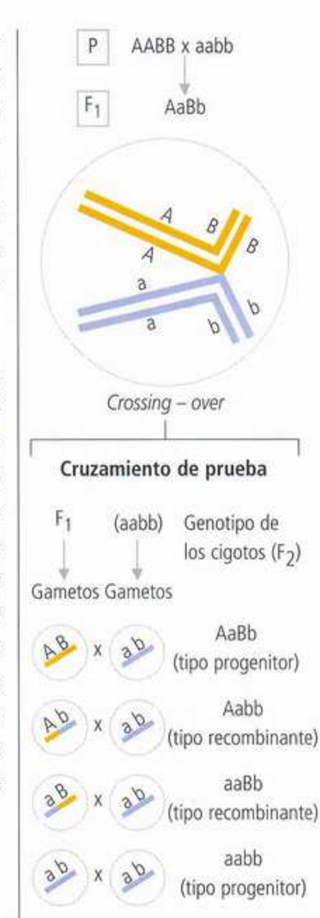
Con el uso de esta técnica y considerando los postulados de Mendel, Morgan concluyó que el número de fenotipos recombinantes depende directamente de la **distancia a la cual se encuentran ubicados ambos genes en un mismo cromosoma**. Si entre dos cromosomas homólogos se produce entrecruzamiento o *crossing over* en una región donde se encuentran dos genes diferentes, entonces los alelos de estos genes se intercambian juntos como una unidad y por recombinación de genes se originan cromosomas homólogos que tienen una combinación de alelos distinta a la original. De modo que, en los genes que se ubican a una menor distancia, la probabilidad de entrecruzamiento entre los cromosomas homólogos es menor que la de genes que se encuentran más separados. En consecuencia, la **frecuencia de recombinación (Fr) es un estimador de la distancia a la cual se encuentran ubicados distintos genes en el cromosoma**, y se calcula como:

Fr = fenotipos recombinantes / fenotipos recombinantes + fenotipos parentales

En el ejemplo de *L. odoratus*:
Fr = (390 + 393) / (390 + 393 + 1.338 + 4.831) = 783/6.952 = 0,1126.

Este valor, expresado en porcentaje, equivale a las **unidades de mapa** (**um**) que separan a ambos loci (11,26 um, en este caso). Por definición, **valores de Fr superiores a 50 um indican que los genes se transmiten de manera independiente**.

En resumen, si dos genes se encuentran en un mismo cromosoma y tienden a heredarse juntos, se denominan **genes ligados**. El modo de herencia de estos genes es distinto a lo propuesto por Mendel. Los **genes independientes** son aquellos que se encuentran en cromosomas distintos y/o que se transmiten de forma independiente, cumpliendo las proporciones de las leyes de Mendel.



Método de cruzamiento de prueba aplicado por Morgan y sus colaboradores.

7 Herencia ligada al sexo

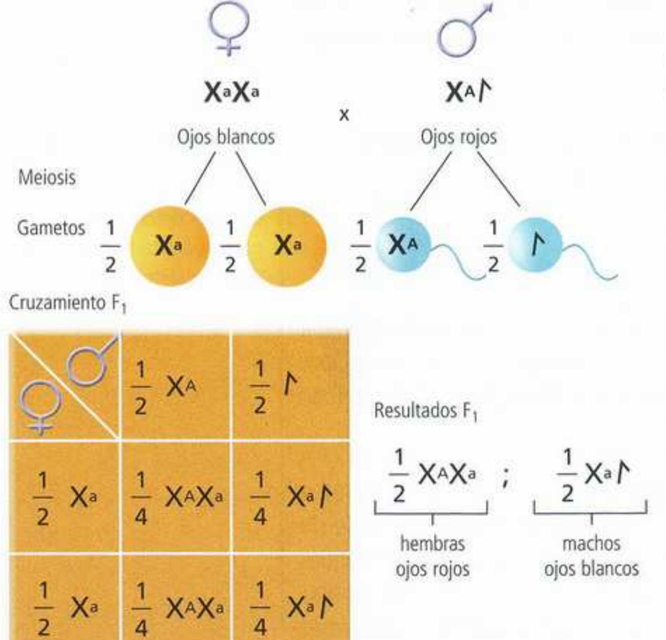
Los fundamentos teóricos para construir mapas genéticos o de ligamiento surgen de otro importante hallazgo obtenido en el laboratorio de Morgan, en 1910, quien observó los siguientes resultados al cruzar moscas hembras de ojos rojos (silvestres) con moscas macho de ojos blancos (mutantes):

F_1: La progenie resultó ser todas de ojos rojos, estableciéndose que el alelo responsable del color rojo de los ojos era el dominante sobre el alelo de ojos blancos.

Al cruzar los individuos de la F_1 entre sí, Morgan obtuvo en la F_2 una proporción de ¾ moscas de ojos rojos : ¼ moscas de ojos blancos. Que era lo esperado según los principios mendelianos. Sin embargo, **las moscas de ojos blancos eran todas machos y el número de hembras de ojos rojos superaba dos veces el de los machos de ojos rojos**.

Claramente, el patrón de herencia del fenotipo "color de ojos" estaba de alguna manera relacionada con el sexo de los individuos portadores de esta información. Para explicar estos resultados anómalos, Morgan realizó un cruzamiento recíproco del anterior (hembras de ojos blancos y machos de ojos rojos), obteniendo hembras de ojos rojos y machos de ojos blancos en una proporción 1:1.

Esquema del experimento de Morgan con *Drosophila*.



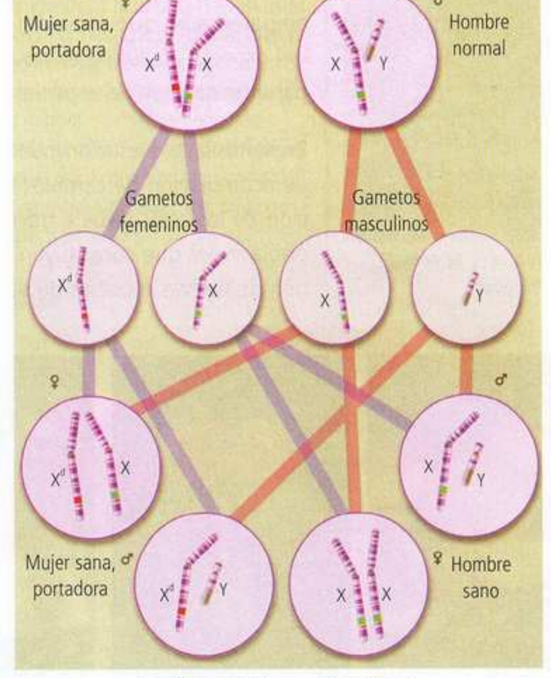
A la luz del conocimiento que se tenía en esa época sobre **el carácter hereditario de la determinación del sexo**, es decir, basándose en el supuesto de que los machos eran portadores del par de cromosomas sexuales XY, mientras que las hembras eran XX, Morgan planteó que **los alelos responsables del color de ojos de *Drosophila* se encontraban físicamente localizados en el cromosoma X**, confirmando en sus resultados experimentales la hipótesis de Sutton y Bovery sobre la ubicación cromosómica de los factores responsables de la herencia.

En el ser humano, algunos caracteres están determinados por genes que se encuentran en los cromosomas sexuales (X e Y). El tipo de herencia de estos caracteres se dice que es **herencia ligada al sexo**.

La herencia de genes ligados al sexo es distinta en hombres y mujeres. Los hombres poseen el par sexual XY mientras que las mujeres poseen el par XX. Así, un gen que se encuentre en el cromosoma X de la mujer tendrá un par de alelos. El alelo dominante se expresará si la mujer es homocigota para ese alelo o heterocigota. El alelo recesivo solo se expresará si la mujer es homocigota recesiva. En cambio, en el hombre, que solo posee un cromosoma X, el fenotipo será siempre la expresión del alelo aunque sea recesivo.

Existen ciertas enfermedades que se deben a la presencia de un gen defectuoso en un cromosoma sexual y, por lo tanto, se heredan ligadas al sexo. Este es el caso del **daltonismo** y la **hemofilia**, enfermedades determinadas por genes que se encuentran en el cromosoma X.

Patrón de herencia de patologías asociadas al cromosoma X



El gen mutado que provoca la enfermedad se encuentra en el cromosoma X y se expresa de manera recesiva (X^d). Una mujer que posea un cromosoma X con el alelo que produce la enfermedad y el otro cromosoma con el alelo normal (X) será portadora de la enfermedad pero no la sufrirá. La mujer XX será normal (sana) y la mujer X^dX^d padecerá la enfermedad. Si el hombre recibe el cromosoma X^d con el alelo defectuoso, padecerá irremediablemente la enfermedad.

8 Evolución

La **evolución** es un proceso que involucra la **transformación** de los seres vivos a través de las generaciones. Dicha transformación se manifiesta en cambios en los **rasgos fenotípicos** (o características observables) los cuales son heredables. La evolución no es el cambio que manifiesta un individuo durante su vida, sino que ocurre en las **poblaciones**, de modo que puede ser estudiada a lo largo de las generaciones. En este sentido, uno de los objetivos de la biología evolutiva es estimar cuánta de la variabilidad fenotípica de un rasgo en una población es heredada.

El conjunto de poblaciones que pueden reproducirse entre sí y que se encuentra aislada reproductivamente de otras poblaciones, constituye una **especie**, de manera que también es correcto plantear que las especies evolucionan y, por lo tanto, es posible investigar dicho proceso a nivel de especie. Es así como existen biólogos evolutivos que intentan reconstruir la historia evolutiva de una especie, o de un grupo de ellas, estudiando su origen y los cambios producidos a través del tiempo.

Cuando se acumulan suficientes cambios dentro de una población de manera que sus miembros no pueden cruzarse con los individuos de otras poblaciones, entonces el proceso evolutivo conduce a la **especiación** u origen de una nueva especie. Así, existen especies más emparentadas que otras. De acuerdo con lo anterior, una perspectiva del proceso evolutivo es aquella que permite inferir las **relaciones de parentesco** entre las especies.

La evolución es un proceso o una serie de procesos que hacen que los seres vivos se trasformen, es decir, que las formas existentes cambien y desaparezcan y aparezcan formas nuevas.

En síntesis, la evolución puede ser definida como un proceso natural de acumulación de cambios heredables que involucran la transformación de los seres vivos a través de las generaciones, que ocurre en las poblaciones que constituyen las especies, y que puede conducir al origen de nuevas especies de seres vivos.









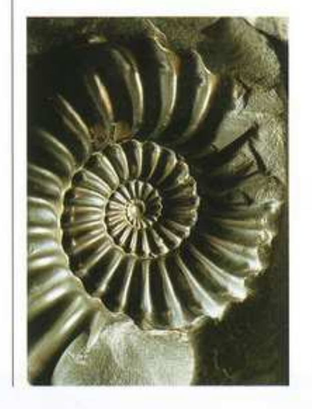
Fijismo y evolucionismo

La evolución es un hecho que no siempre fue conocido y/o aceptado por los intelectuales. Antiguamente, algunos científicos y filósofos consideraban que todos los seres vivos habían sido creados por Dios y desde ese momento, habrían permanecido "fijos" y sin alteración hasta el presente, negando un parentesco entre ellos. A esta línea de pensamiento se le conoció como **fijismo**, y prevaleció hasta mediados del siglo XIX. Los científicos más destacados que apoyaron el fijismo fueron **Carlos Linneo** y **Georges Cuvier**.

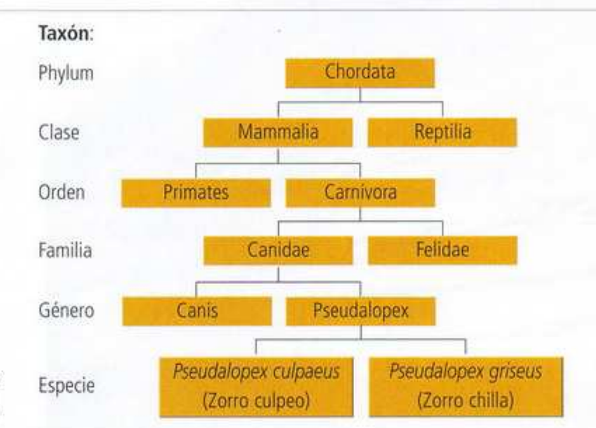
A comienzos del siglo XIX, cuando las ideas del fijismo aún tenían mucha fuerza, comienza a emerger una nueva forma de pensamiento, el **transformismo**, que se oponía a la idea de especies fijas, planteando que los seres vivos cambian a lo largo del tiempo, dando lugar a la diversidad de especies existentes. A partir de dicha corriente surgieron teorías científicas enmarcadas en el **evolucionismo**. La primera teoría evolucionista suficientemente elaborada fue presentada en 1809 por el francés **Jean Baptiste de Lamarck**.

Lamarck (1744-1829). Propuso que los cambios ambientales generaban necesidades entre los seres vivos, los cuales sufrían modificaciones para adaptarse a su ambiente. De esta manera, los organismos podían adquirir o heredar, de las generaciones precedentes, las características (adaptaciones) que ellos habían desarrollado para responder a los requerimientos que su medio les imponía, principio conocido como **herencia de los caracteres adquiridos**. Además, propuso el llamado **principio del uso y del desuso** de los órganos, según el cual el desarrollo de las estructuras y órganos de un individuo dependía del uso que se hiciera de ellos. Así, su uso constante los perfeccionaba y el desuso los reducía y atrofiaba.

Georges Cuvier (1769-1832). Es considerado el padre de la paleontología debido al importante estudio que realizó sobre los restos fósiles. Aunque sus trabajos mostraban la aparición y extinción de especies a lo largo del tiempo, recurrió a explicaciones basadas en ideas creacionistas. Cabe destacar que, de acuerdo con las ideas del fijismo, los fósiles fueron considerados como "caprichosos juegos de la naturaleza", resultado de la acción del viento, del agua o de alguna fuerza misteriosa que actúa sobre las rocas.



Carlos Linneo (1707-1778). Realizó una profunda labor de estudio y clasificación de especies animales y vegetales. Linneo desarrolló un sistema jerárquico de organización de los organismos que hoy conocemos como **sistema de clasificación natural**.



Ejemplo del modelo de clasificación natural.

Rocas sedimentarias. Están formadas por partículas que se fueron depositando en forma de capas (estratos) en el fondo de lagos o mares. Son ejemplos de rocas sedimentarias la **caliza** y el **yeso**.

Los fósiles como evidencia de evolución

Los **fósiles** son restos estructurales de seres vivos, huellas y otros restos orgánicos (como los excrementos), que se mineralizaron durante el proceso de formación de la roca sedimentaria donde se encuentran incluidos.

Los restos fósiles encontrados de seres vivos que habitaron el planeta en la antigüedad, en conjunto con la información aportada por la estratigrafía, revelaron mucha evidencia a favor del proceso evolutivo. Por ejemplo, fósiles con rasgos parecidos a las especies actuales se han encontrado en **estratos** más superficiales, pero ausentes en capas más profundas; y, en estos últimos, se han descubierto formas fósiles distintas a las especies encontradas en estratos más superficiales. Los hallazgos de fósiles en estratos de diferente profundidad, así como las diferencias entre ellos, constituyen evidencias de la evolución, y de que en el pasado pudieron existir formas vivas que no están presentes hoy.

Además, el descubrimiento de fósiles entrega información respecto de la historia evolutiva de diferentes **grupos taxonómicos**, así como de los cambios sufridos en la corteza terrestre. Por ejemplo, fósiles del mismo tipo en distintos lugares, pero en los mismos estratos, indicaría que en ciertos períodos geológicos predominaron especies pertenecientes a determinados grupos taxonómicos. Asimismo, los restos de organismos marinos, descubiertos a alturas lejanas del mar, evidencian que esos lugares habrían estado, antiguamente, cubiertos por el océano.



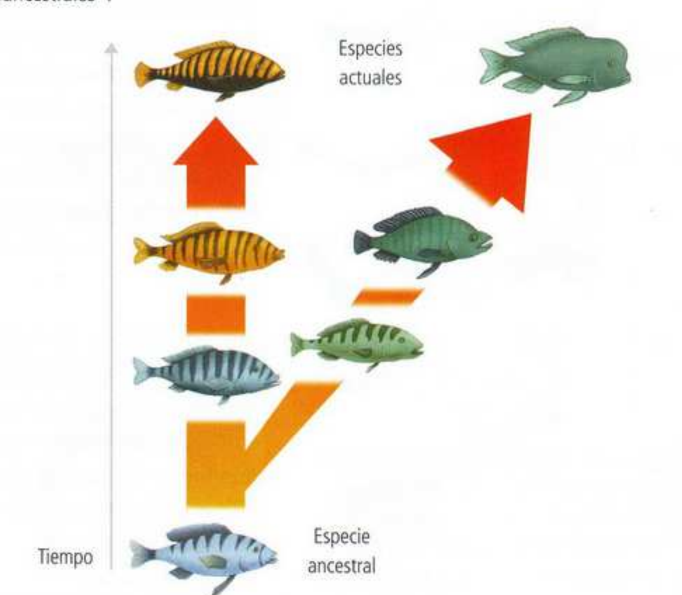
Estratigrafía. Es una rama de la geología que estudia los estratos o capas paralelas de roca y determina tanto su edad como su distribución espacial. Un principio establecido por esta disciplina señala que en una capa de estratos horizontales, la superior es siempre más moderna que la inmediatamente inferior. Otro principio establece que cualquier proceso geológico, como la formación de pliegues, es siempre posterior al estrato. De acuerdo con estos principios, en una estratificación normal los estratos superficiales son más recientes que los profundos.

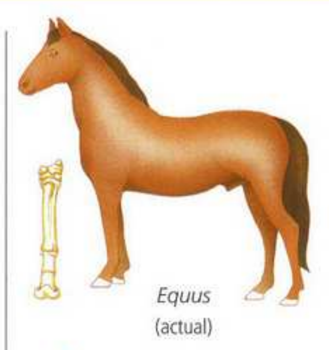
Fósiles e historia evolutiva

Cuando el registro fósil de un grupo de organismos de especies cercanas o estrechamente emparentadas es lo suficientemente completo, los fósiles pueden ser utilizados para deducir la historia evolutiva de las **especies actuales**, utilizando especies extintas de diferentes períodos geológicos. De esta manera, a veces, los fósiles aportan pruebas sobre el origen de una especie, a partir de otra preexistente o "**ancestral**".

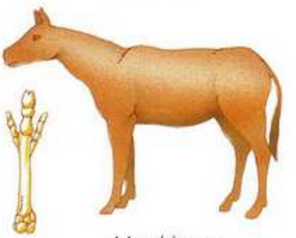
Por otra parte, ciertos estudios comparativos de fósiles pertenecientes a un mismo grupo taxonómico, indicarían una tendencia a la **complejidad morfológica**, es decir, fósiles más antiguos corresponden a seres vivos con características morfológicas más "simples", mientras que los más recientes exhiben estructuras más complejas. Sin embargo, el registro fósil de muchos grupos taxonómicos es escaso, de manera que no se pueden efectuar dichos estudios comparativos.

Especies actuales y ancestrales. A partir del origen de los primeros seres vivos se produjo una amplia diversificación de especies, debido a que los organismos fueron evolucionando en el transcurso del tiempo y se formaron nuevas especies a partir de especies preexistentes. A las especies nuevas se les denomina "especies modernas" o especies actuales; en cambio, a las especies de las cuales descienden se les denomina comúnmente "especies ancestrales".

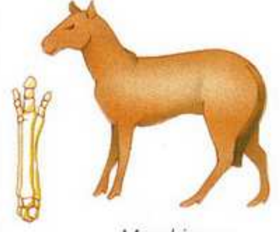




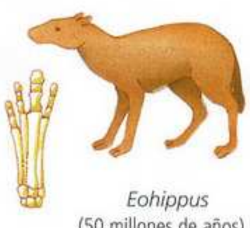
Equus (actual)



Meryhippus (20 millones de años)



Mesohippus (35 millones de años)



Eohippus (50 millones de años)

Reconstrucción de la historia evolutiva. La línea evolutiva del caballo moderno (*Equus*), ha sido propuesta a partir del registro fósil encontrado, como restos óseos de las extremidades.

Evidencias de la evolución aportadas por la anatomía comparada

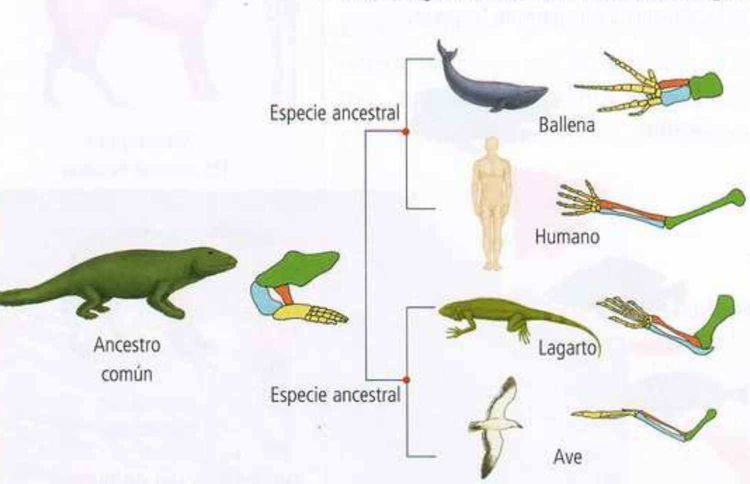
Divergencia evolutiva y homologías

La **anatomía comparada** es un área de la biología que estudia las semejanzas y diferencias de las estructuras morfológicas entre los organismos. Esta disciplina permitió inferir el **parentesco entre especies** y también la relación entre el ambiente y las adaptaciones de los organismos. Así, especies adaptadas a diferentes ambientes y, en consecuencia, morfológicamente muy diferentes, muestran semejanzas que sugieren un ancestro común.

Por ejemplo, las extremidades superiores de anfibios, reptiles, aves y mamíferos presentan variaciones morfológicas que reflejan sus diferentes modos de vida. Sin embargo, sus estructuras internas revelan grandes semejanzas: los huesos húmero, radio y cúbito están presentes en las extremidades de dichos organismos y han sido identificados también en fósiles. Esta evidencia sugiere un ancestro común para estos grupos de animales.

A los órganos o estructuras morfológicas de origen evolutivo común, es decir, compartidos por diferentes especies y heredados desde un ancestro en común, se les denominó **órganos homólogos**. La similitud de las homologías se explica, en consecuencia, por **evolución divergente** o divergencia desde un ancestro común.

Las homologías no solamente son morfológicas. Muchos investigadores han enfocado sus estudios en determinar homologías genéticas, metabólicas, fisiológicas y conductuales.





El estudio comparativo de la morfología de las especies sugiere que algunas de ellas tienen una especie ancestral (extinta) en común. Por ejemplo, las ballenas y los humanos comparten una especie ancestral, al igual que los lagartos y las aves. Además, ambas especies ancestrales tienen otra especie ancestral en común. Este tipo de análisis ha sido una evidencia para el proceso de evolución y origen de las especies.

Convergencia evolutiva y analogías

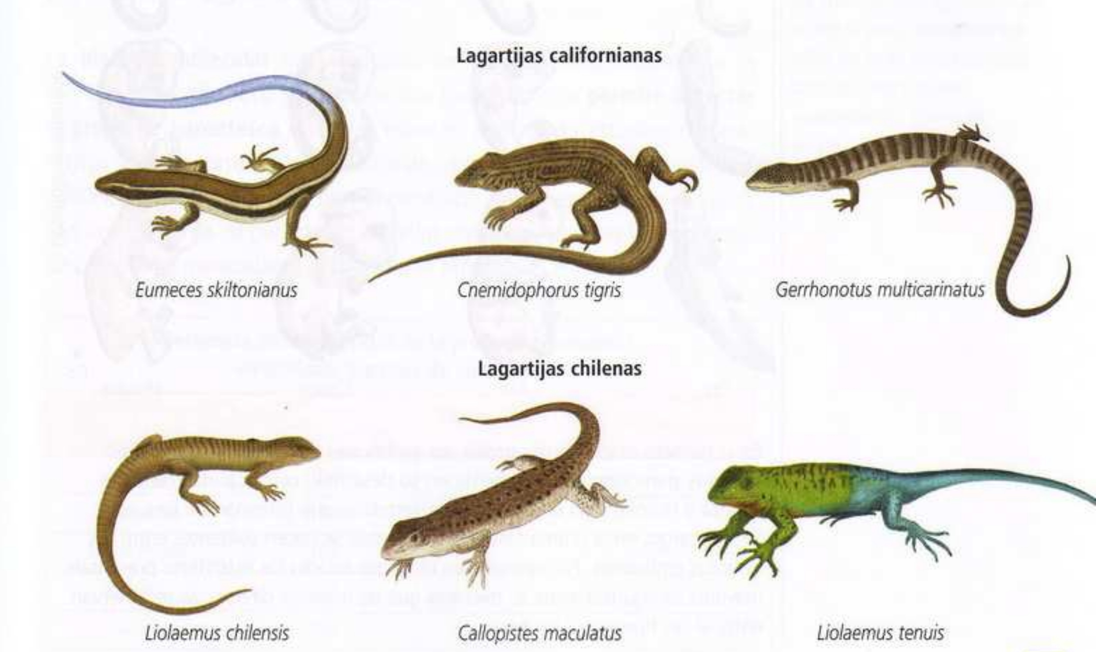
La anatomía comparada además ha sido capaz de identificar semejanzas estructurales al comparar especies que habitan lugares muy distantes, pero en ambientes similares, reconociendo la estrecha **relación entre el ambiente y las adaptaciones de los organismos**.

Especies no relacionadas (o lejanamente emparentadas), pero que habitan ambientes similares, pueden evolucionar de manera convergente alcanzando apariencias físicas similares, como respuesta a los mismos requerimientos o presiones ambientales.

Tales estructuras de apariencia y función similar, aunque de origen diferente, se conocen como **órganos análogos** o **analogías**. Dichas estructuras se explican por **convergencia evolutiva**, es decir, han evolucionado de manera independiente, dado que las especies que las presentan no comparten una especie ancestral común.

Ejemplos clásicos de estructuras análogas son las alas de los insectos y las alas de las aves. También las analogías pueden ser conductuales, fisiológicas, metabólicas y genéticas. Por ejemplo, el vuelo en aves y murciélagos es una analogía conductual, pues evolucionó de manera independiente en dichos grupos taxonómicos.

Los organismos de especies que viven en ambientes similares, con variables abióticas muy parecidas y que usan de manera similar algunos recursos, evolucionan hacia estructuras similares, como, por ejemplo, especies chilenas y californianas de lagartijas.



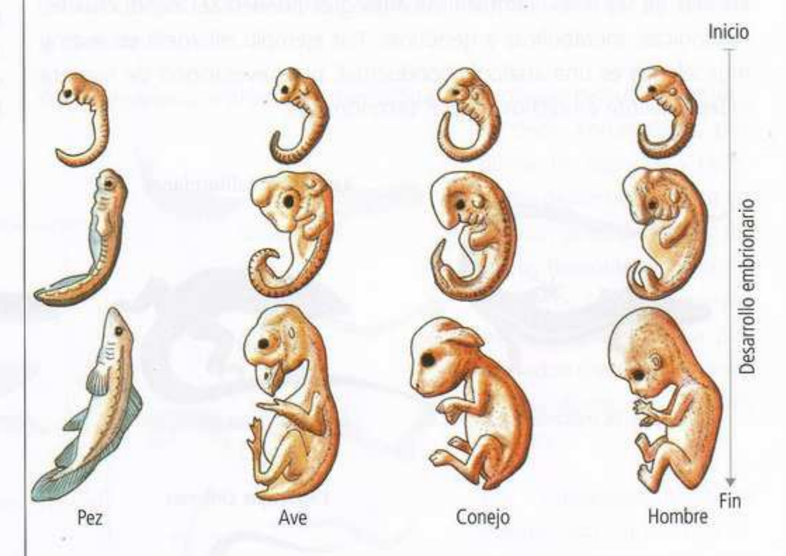
Evidencias evolutivas en serpientes. Algunas especies de serpientes presentan en etapas tempranas del desarrollo embrionario, tejidos óseos precursores de las extremidades posteriores. Esta observación, junto con la evidencia fósil, sustenta la hipótesis de que las serpientes evolucionaron a partir de ancestros que tenían extremidades.



Evidencias de la evolución aportadas por la biología del desarrollo

Los **estudios del desarrollo embrionario** proveen claves sobre la evolución de las especies actuales, ya que durante algunos estados del desarrollo embrionario, los organismos exhiben total o parcialmente rasgos ancestrales.

Al comparar las etapas del desarrollo embrionario entre algunos grupos de especies se observa gran similitud, especialmente durante los estados tempranos, exhibiendo estructuras comunes que en algunas especies posteriormente desaparecen. Por ejemplo, las fases embrionarias tempranas de un reptil, un ave, o un mamífero son muy parecidas. Para algunos investigadores el **desarrollo embrionario constituye toda una recapitulación de la historia evolutiva de la especie**. Especies más emparentadas manifestarán una recapitulación embrionaria más coincidente, en tanto que, especies menos emparentadas, solo coincidirán durante etapas tempranas de su desarrollo.



En la primera etapa de desarrollo, los embriones de las distintas especies son muy parecidos, especialmente en su desarrollo cefalocaudal (desde la cabeza a la cola) y en la presencia de vértebras que terminan en una cola. Sin embargo, en la última fase, las diferencias se hacen evidentes entre los distintos embriones. Por ejemplo, en el último estadio los mamíferos presentan mayores semejanzas entre sí, mientras que las mayores diferencias se observan entre el ser humano y los peces.

Evidencias de la evolución aportadas por la biogeografía

La **biogeografía** estudia la distribución geográfica de los seres vivos en el planeta, considerando aspectos ecológicos y geográficos actuales y pasados. Sus observaciones sugieren que **ciertos grupos de especies que habitan territorios relacionados** por su cercanía o porque alguna vez estuvieron próximos, **se originaron y diversificaron a partir de un antepasado común**. Por ejemplo, tanto en la fauna de mamíferos de Australia como en la de América del Sur se encuentran marsupiales. Se cree que hace aproximadamente 65 millones de años atrás especies de este grupo de animales que habitaban Sudamérica habrían llegado a Australia a través de la Antártica, que en esa época aún se encontraban conectadas. De esta manera, las especies actuales de marsupiales americanos y australianos se habrían originado y evolucionado a partir de los mismos antepasados.





El monito del monte (*Dromiciops gliroides*) es una de las tres especies de marsupiales que habitan nuestro país, siendo entre ellas las más emparentada con los marsupiales australianos, como el koala.

Evidencias de la evolución aportadas por la biología molecular

La **biología molecular** ha entregado los aportes más recientes a la teoría de la evolución. Su importancia radica en que **permite detectar el grado de parentesco** entre las especies realizando estudios comparativos sobre la composición química de caracteres moleculares (proteínas y ADN, por ejemplo). Estos han demostrado que mientras más cercanas son las relaciones de parentesco entre las especies, mayor es la proporción de caracteres moleculares compartidos entre tales especies.

Secuencia de aminoácidos de la proteína citocromo c en distintas especies de vertebrados

Especie	Número de aminoácidos	Aminoácidos distintos al citocromo c del ser humano
Hombre	104	——
Chimpancé	104	0
Mono *rhesus*	104	1
Caballo	104	11
Atún	104	21

La teoría evolutiva de Darwin

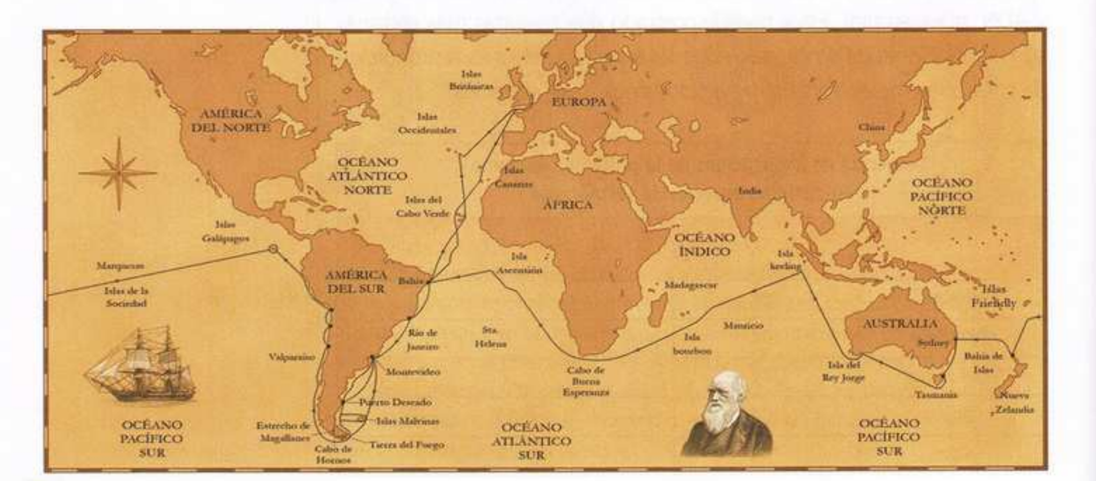
Las ideas de Lamarck tuvieron una aceptación general hasta mediados del siglo XIX, cuando el naturalista inglés **Charles Darwin** (1809-1882) publicó su teoría respecto de la evolución de las especies. Gracias a las observaciones que efectuó por el mundo, junto con antecedentes provenientes de otras áreas, Darwin publicó en 1859 el libro titulado *Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural, o la conservación de las razas favorecidas en la lucha por la vida*.

Una de las principales ideas de la teoría elaborada por Darwin provino de la sociología: **Thomas Malthus** afirmaba que los recursos alimenticios podían, en el mejor de los casos, aumentar en progresión aritmética (1, 2, 3, 4, 5,...), mientras que la población humana lo hacía en progresión geométrica (1, 2, 4, 8, 16,...), es decir, las poblaciones crecen más rápido que los recursos de los cuales se alimentan. Darwin consideró que si en una población nacen más individuos de los que los recursos ambientales pueden sostener, debería existir entre ellos una **lucha por sobrevivir**.

Además, Darwin estudió el proceso de **selección artificial** que llevan a cabo los criadores de animales, por medio del cual aumenta o disminuye la "magnitud" de una determinada característica fenotípica en un grupo de organismos, como, por ejemplo, el tamaño de puesta en las gallinas, la cantidad de leche producida por vacas, o el tamaño de semillas de vegetales, debido a que las personas eligen, generación tras generación, los individuos que presentan las características de interés y los reproducen entre sí.

El viaje de Darwin.
En 1831, Darwin inició una expedición que duró cinco años a bordo del *Beagle*, una embarcación que zarpó desde Inglaterra y recorrió diferentes lugares del mundo. Las observaciones realizadas por el naturalista durante este viaje le permitieron proponer un mecanismo mediante el cual ocurre la evolución.

Adaptado de: *Curtis y Barnes. Biología. 2005.*



Selección natural

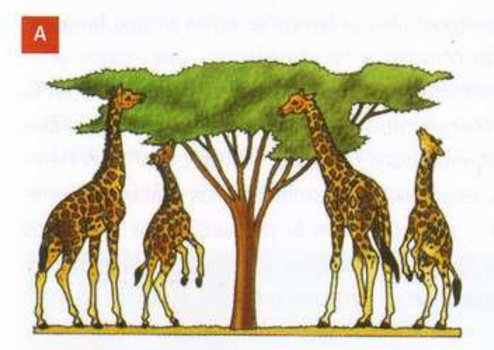
El mecanismo evolutivo central propuesto por Darwin se resume en las siguientes ideas:

- Los individuos que conforman una especie presentan variaciones entre sí.
- Entre los individuos hay una **lucha por la existencia**, impuesta por las **restricciones ambientales** (recursos limitados).
- Solo sobreviven aquellos individuos cuyas variaciones los hacen más "**ventajosos**" en comparación al resto, los cuales podrían llegar a la edad adulta y **reproducirse**.

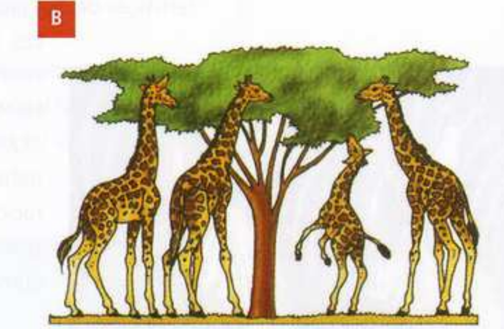
De esta manera, el ambiente favorecerá la sobrevivencia y/o reproducción de los individuos más aptos frente a las condiciones limitantes del ambiente, los cuales serán **seleccionados por la naturaleza**. Así, su proporción aumentaría de generación en generación y las variaciones favorables se preservarán en la población. Este es el mecanismo de **selección natural** que explicaría cómo evolucionan las especies.

La teoría de la evolución de Darwin y Wallace.
La teoría de la evolución de las especies por selección natural fue desarrollada por Charles Darwin y Alfred Wallace al mismo tiempo, pero en forma independiente. El trabajo de ambos naturalistas ingleses fue leído en 1858 ante la Linnean Society de Londres. Por tal motivo, actualmente se acepta que tanto Darwin como Wallace son autores de esta teoría evolutiva.

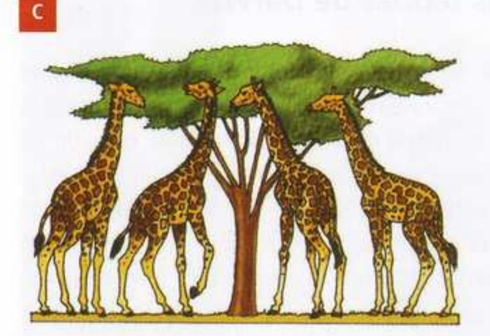
A



B



C



Ejemplo de la evolución por selección natural. Las jirafas ancestrales presentaban variaciones en la longitud de su cuello (A). Al escasear el alimento a menor altura y a ras del suelo sobrevivieron las jirafas de cuello más largo, que podían alcanzar las hojas de los árboles (B). Las jirafas de cuello largo tuvieron mayor posibilidad de reproducirse, originando, generación tras generación, más descendientes con esta característica (C).



Condiciones necesarias para que opere la selección natural

La teoría de la evolución por selección natural se basa en tres principios clave: **variabilidad fenotípica**, **adecuación biológica diferencial** y **heredabilidad**.

- **Variabilidad fenotípica**. Corresponde a las diferencias fenotípicas entre los organismos de una población. La variabilidad es clave en el mecanismo de selección natural, ya que frente a condiciones ambientales que imponen restricciones a los seres vivos, algunos de ellos morirán o tendrán menor capacidad de sobrevivencia y reproducción (adecuación biológica), debido a que no poseen el mismo fenotipo.

- **Adecuación biológica diferencial**. Está asociada con la variabilidad fenotípica, vale decir, ciertos organismos en una población poseen un rasgo fenotípico en un estado (o variante) que les confiere menor adecuación biológica; en cambio, otros miembros de la población presentan el mismo rasgo, pero con otro estado (otra variante), que les permite mayor adecuación biológica.

- **Heredabilidad**. Los individuos de una población heredan sus características de sus progenitores. Así, la herencia de los rasgos fenotípicos que otorgan a los organismos una mayor adecuación biológica constituye un elemento clave en la selección natural, ya que si los rasgos por los cuales algunos individuos han sido "favorecidos" son heredables, estos serán transmitidos a las siguientes generaciones, de modo que la proporción de individuos con rasgos ventajosos para sobrevivir en el ambiente aumentaría de generación en generación.



Entre individuos de una misma especie, existen rasgos fenotípicos que varían. Por ejemplo, las cebras no son idénticas en su patrón de coloración.

Otras teorías de Darwin

Además de argumentar a favor de la selección natural como mecanismo a través del cual se produce la evolución (**teoría de la selección natural**), otras de las teorías que Darwin desarrolló son las siguientes: diferentes tipos de organismos descienden de un antepasado común (**teoría de la ascendencia común**), las especies se multiplican con el tiempo (**teoría de la especiación**) y que la evolución se produce por el cambio gradual de las poblaciones (**teoría del gradualismo**).

Teoría sintética de la evolución

Darwin formuló la teoría de la selección natural sin fundamentos genéticos que explicaran el origen de la variabilidad y los mecanismos de transmisión hereditaria de la misma. En esa época, los trabajos sobre la herencia realizados por Mendel aún eran desconocidos para la comunidad científica. Fue a comienzos del siglo XX, después del redescubrimiento de dichos trabajos, cuando la teoría darwinista sufrió ciertas modificaciones, dando lugar a la **teoría sintética de la evolución**.

La teoría sintética de la evolución o **neodarwinismo** integra la genética mendeliana, la genética de poblaciones y la selección natural de Darwin, proponiendo los siguientes mecanismos:

- La variabilidad en una población se produce por cambios en la composición genética de la especie o **mutaciones**. Esta variabilidad genética es incrementada por los procesos de **recombinación genética**.

- La selección natural elimina a aquellos individuos que por su información genética son menos aptos, con lo cual, los genes involucrados en la expresión de estos fenotipos "desventajosos" también son eliminados o reducen su frecuencia en la población.

- Las características que tienen valor adaptativo, llamadas **adaptaciones**, se transmiten a la generación siguiente, con lo cual los genes involucrados en su expresión aumentan su frecuencia en la población, generación tras generación.

Adaptación. Es cualquier rasgo heredable cuya presencia en un individuo incrementa su adecuación biológica, bajo un determinado conjunto de condiciones ambientales, y que se va fijando o volviendo más frecuente en la población, como resultado de la selección natural.



Los cactus habitan lugares secos y calurosos, a los que se han tenido que adaptar, transformando las hojas en espinas y realizando la fotosíntesis en el tallo, el cual presenta una sustancia cerosa, que evita la pérdida de agua.

Genética de poblaciones. Es la rama de la genética que estudia el acervo genético de las poblaciones y los cambios que ocurren en el tiempo; por ejemplo, en las frecuencias genotípicas y alélicas, intentando encontrar las causas que explican esos cambios.

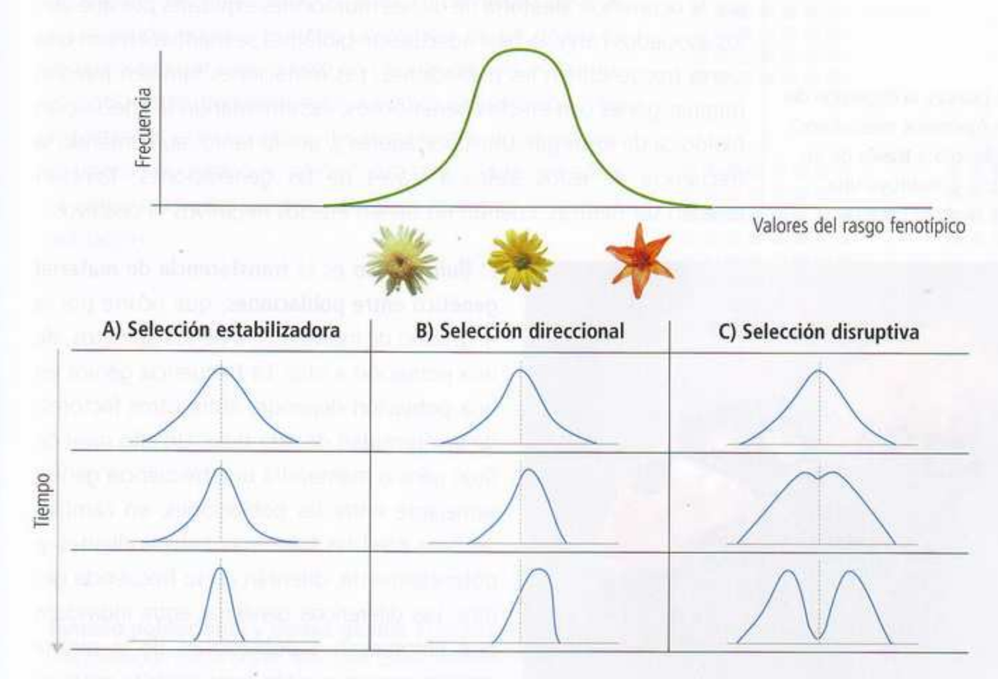
Enfoque poblacional de la selección natural

El desarrollo de la **genética de poblaciones** integrada a la teoría sintética de la evolución, permite examinar el escenario poblacional en el cual ocurre la selección natural.

El conjunto de genes de una población, con todas las variaciones (alelos) que pueden producirse por mutación y por nuevas combinaciones en el genotipo (por recombinación genética), es llamado **acervo genético** o **reserva genética** de una población. El conjunto de genes de cada individuo en las poblaciones y el ambiente involucrado en su expresión, determinan los rasgos del fenotipo. La selección natural actúa sobre los individuos, específicamente sobre rasgos de su fenotipo, que aumentan o disminuyen su frecuencia dependiendo del escenario ambiental. En este sentido, el acervo genético se ve sometido de modo más indirecto a la acción de la selección natural, ya que los rasgos fenotípicos asociados a una menor adecuación biológica reducen la frecuencia de los alelos que los expresan en la población, al contrario de lo que ocurre con los rasgos del fenotipo que otorgan mayor adecuación biológica. Así, los individuos portadores de una combinación de alelos "desfavorable" tendrán una descendencia menos numerosa en el transcurso de las generaciones, por lo que la representación de sus alelos irá disminuyendo e incluso puede desaparecer en las generaciones siguientes. Por el contrario, aquellos individuos que portan una combinación de alelos "favorable" podrán vivir mejor y más tiempo, lo que aumenta su probabilidad de reproducirse: sus descendientes serán más numerosos y, probablemente, las siguientes generaciones de la población estarán constituidas principalmente por individuos que portan la combinación de alelos "favorable".

Por lo tanto, en el **contexto poblacional**, la variabilidad sobre la cual actúa la selección natural se expresa como la proporción de individuos de la población que poseen uno u otro alelo de un gen. La selección natural favorecería un alelo por sobre otro(s), debido a que al aumentar la frecuencia de los rasgos fenotípicos heredables que mejoran la adecuación biológica, se incrementa la frecuencia alélica de los genes involucrados en la expresión de tales rasgos. Por lo tanto, la selección natural contribuye a determinar cambios en la proporción de alelos (frecuencia génica) en la población. De acuerdo a lo anterior, la **evolución consiste en el cambio en la proporción de alelos del conjunto de genes de una población a lo largo de las generaciones**.

Según los efectos en la población, a lo largo del tiempo, se reconocen tres formas básicas de selección natural: la selección estabilizadora, la selección direccional y la selección disruptiva. La **selección estabilizadora** se caracteriza porque favorece a aquellos individuos que expresan el valor promedio de un rasgo. Como consecuencia, después de algunas generaciones, la frecuencia del rasgo en la población se reduce, por lo que la población se hace cada vez más uniforme. La **selección direccional** tiene lugar cuando los individuos de uno de los extremos de la distribución de características dentro una población tienen mayor eficacia biológica y son favorecidos. Como consecuencia, la frecuencia del rasgo en la población se desplaza en esa dirección. En la **selección disruptiva** se favorece a aquellos individuos que expresan los rasgos más extremos en la población, reduciendo la representación de los rasgos que se ubican en torno al promedio.



Representación de los tres tipos de selección natural.
En un comienzo, la población está representada, en su mayoría, por plantas con flores de pétalos amarillos (al centro de la distribución). Las flores con pétalos de color blanco y naranjo son una pequeña proporción de los individuos de la población (extremos).
A) Selección estabilizadora: da como resultado el incremento de flores con pétalos amarillos.
B) Selección direccional: con el tiempo aumenta la proporción de flores con pétalos naranjos en la población.
C) Selección disruptiva: aumenta la proporción de plantas con flores de pétalos blancos y naranja, y disminuye la de flores amarillas.

11 Otras fuerzas evolutivas

En el marco de la teoría neodarwinista, el mecanismo o **fuerza evolutiva** principal que promueve los cambios en la frecuencia génica de una población es la selección natural. Sin embargo, también **existen otros factores involucrados en los cambios evolutivos**, entre ellos se distinguen: las mutaciones, el flujo génico y la deriva génica.

Las **mutaciones** corresponden a **cambios en la estructura de un gen**, que se traducen en la manifestación de una característica que antes no existía en la población. Estos cambios constituyen la única fuente de "novedad genética", es decir, de **generación de genes** (**alelos**) **nuevos**. Las mutaciones pueden tener efectos negativos en la adecuación biológica de los seres vivos, incluso llegando a ser letales. De acuerdo con la selección natural, los alelos producidos por estas mutaciones deberían desaparecer del acervo genético de la población. Sin embargo, la ocurrencia **aleatoria** de dichas mutaciones explicaría por qué alelos asociados con una baja adecuación biológica se mantienen con una cierta frecuencia en las poblaciones. Las mutaciones también pueden originar genes con efectos beneficiosos, incrementando la adecuación biológica de los organismos portadores y, por lo tanto, aumentando la frecuencia de estos alelos a través de las generaciones. También pueden ser neutras, cuando no tienen efectos negativos ni positivos.

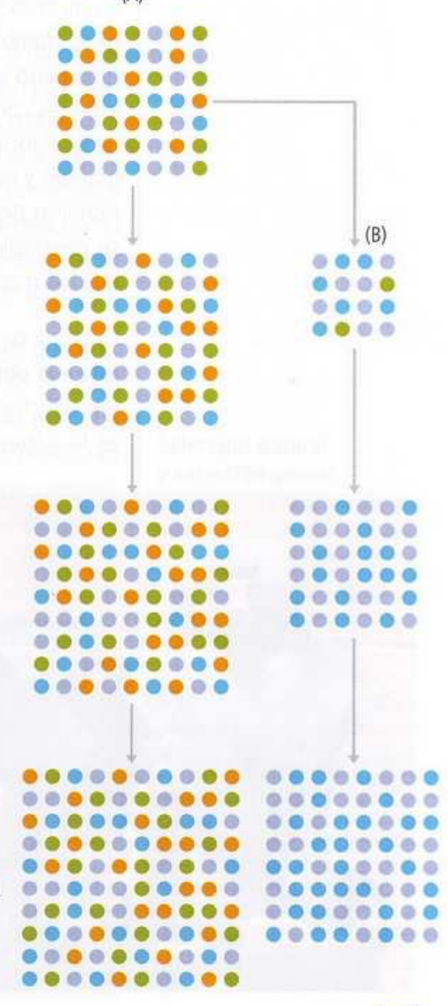
En las plantas, la dispersión del polen (gametos masculinos), por ejemplo a través de los insectos, constituye una forma de flujo génico.



El **flujo génico** es la **transferencia de material genético entre poblaciones**, que ocurre por la migración de individuos, o de sus gametos, de una población a otra. La frecuencia génica en una población depende, entre otros factores, de la intensidad de este flujo. Un alto nivel de flujo génico mantendrá una frecuencia génica semejante entre las poblaciones; en cambio, un bajo nivel las hará más independientes y, potencialmente, diferirán en su frecuencia génica. Las diferencias genéticas entre individuos que pertenecen a poblaciones de la misma especie pero que están muy alejadas entre sí, pueden ser mayores que las diferencias entre individuos pertenecientes a la misma población. Por tanto, la llegada de individuos de poblaciones muy distantes implica la llegada de genotipos distintos y un aumento en la diversidad genética poblacional.

La **deriva génica** representa uno de los principales factores que promueven la evolución en las poblaciones, y corresponde al **cambio en la frecuencia génica de una población que resulta de la variación al azar en la supervivencia y reproducción de los individuos**. En consecuencia, la frecuencia génica de una población puede variar dependiendo de si los organismos por azar se reproducen más o menos. La deriva génica es la fuerza evolutiva predominante cuando los alelos de un gen son neutros, es decir, cuando no tienen efectos significativos sobre la supervivencia o la reproducción. La deriva génica resulta en cambio evolutivo, pero no en adaptación, aunque en combinación con la selección podría favorecerla.

El efecto de la deriva génica, en cuanto a las fluctuaciones de la frecuencia génica, no es importante en una población de gran tamaño, pues el promedio general sigue siendo estable, es decir, un cambio en un grupo es compensado por uno inverso en otro grupo. Sin embargo, en poblaciones pequeñas estos cambios azarosos son muy importantes, pues no existe, necesariamente, un grupo que compense el cambio en otro. Por lo tanto, la deriva génica actúa más intensamente mientras más pequeña es la población.



Tamaño poblacional y deriva génica. El esquema representa una población inicial (A) en que cada esfera de color diferente corresponde a un alelo. La frecuencia génica del alelo "azul" fluctúa a través de las generaciones en ausencia de selección natural. Un grupo reducido de individuos de la población inicial, funda una población distinta (B), en la cual también cambian las frecuencias génicas a través de las generaciones, en ausencia de selección natural. En esta población, más pequeña que la población A, ocurre un aumento de la frecuencia del alelo "azul", por deriva génica, así como la desaparición de otros alelos.

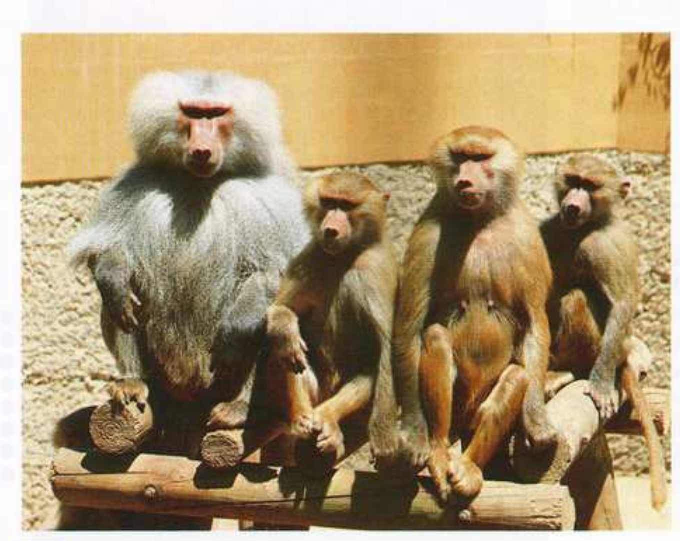
12 Selección sexual

La **teoría de la selección sexual** es también una teoría elaborada por Charles Darwin, quien la propuso en una publicación del año 1871, diferenciándola de la selección natural.

La **reproducción sexual** es muy importante en la evolución de muchas especies, debido a que **produce variabilidad genética mediante los mecanismos de recombinación**. Sin embargo, existen bastantes costos asociados a este tipo de reproducción, los cuales no son iguales para ambos sexos. Esta diferenciación en los costos asociados con la reproducción implica que la selección natural favorezca distintos caracteres en machos y en hembras.

En muchas especies de animales existen notorias diferencias morfológicas (también fisiológicas y conductuales) entre machos y hembras, fenómeno denominado **dimorfismo sexual**. Los machos de diversas especies con dimorfismo sexual, frecuentemente poseen rasgos llamativos e incluso "exagerados", como plumas vistosas, cuernos muy grandes y elaborados cantos. Estos rasgos pueden ser muy costosos en términos de sobrevivencia, no solo por el gasto energético que supone su desarrollo y mantención, sino que también porque algunos hacen que los machos sean presas fáciles para los depredadores.

La teoría de la selección sexual explica **cómo los rasgos que cumplen un rol en la obtención de pareja** y, por lo tanto, que incrementan el éxito reproductivo individual, **pueden evolucionar** aunque implique un costo en la sobrevivencia de los organismos que los poseen.



Dimorfismo sexual.
Habitualmente los machos presentan características morfológicas "llamativas o exageradas", que las hembras no presentan, o, si las tienen, son menos desarrolladas. La "exageración" de los rasgos alcanzaría un límite cuando los costos son mayores que los beneficios en términos de la adecuación biológica de los individuos que los poseen.

Formas de selección sexual

Existen dos componentes fundamentales de la selección sexual, también conocidos como formas de selección sexual: **a) selección intrasexual**, que corresponde a la competencia entre los individuos de un sexo (habitualmente machos) por acceder a los individuos del sexo opuesto; **b) selección intersexual** o elección que hacen los individuos de un sexo (habitualmente hembras) hacia el sexo opuesto. En este contexto, los rasgos sexuales llamativos o exagerados en los machos evolucionan a través de la selección sexual debido a la elección efectuada por las hembras.

Mecanismos de selección sexual

Existen algunos modelos e hipótesis que explican la presencia de rasgos llamativos, en el marco de la selección sexual. Una explicación propuesta para la evolución de los rasgos sexuales llamativos en los machos, es que estos pueden reflejar la **calidad genética** del macho, ya que este es capaz de sobrevivir a pesar de poseer un rasgo costoso. En consecuencia, las hembras eligen a los machos con estas señales costosas como padres de sus crías, las cuales heredarán dichos genes y tendrán mejor probabilidad de sobrevivencia, aumentando así su adecuación biológica.

Otra hipótesis es que las hembras son atraídas hacia machos que portan estos rasgos "llamativos". Si existe variabilidad, tanto en el rasgo como en la preferencia de este, los machos con rasgos más exagerados serán más elegidos por las hembras, con lo cual las hijas heredarán los genes responsables de tal preferencia y los hijos los genes responsables del rasgo "preferido". Así, ocurre un proceso **autorreforzante o de retroalimentación positiva**. Entre los machos ocurre competencia, de tal manera que los que poseen "mejores" rasgos (más llamativos o exagerados) tendrán mayor posibilidad de reproducción y aumento de adecuación biológica.



La cornamenta que poseen los individuos machos de algunas especies puede ser una señal para las hembras sobre la calidad genética del macho.

Selección natural y selección sexual.
La distinción entre selección natural y selección sexual es una consecuencia de cómo Darwin presentó sus ideas, y de cómo se ha hecho la diferencia en algunas investigaciones. Pero, de acuerdo con muchos biólogos evolutivos, es básicamente lo mismo y tiene un efecto similar: producción de más progenie. Se puede obtener más progenie viviendo más, siendo más fecundo o maximizando el éxito de apareamiento, existiendo costos y beneficios para cada una de esas estrategias.

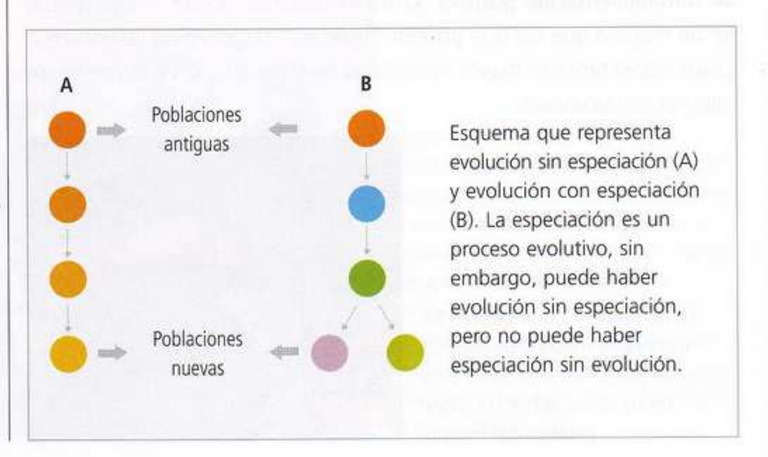
13 Especiación

Evolución y origen de las especies

Las poblaciones evolucionan en el transcurso del tiempo, lo cual se manifiesta en fluctuaciones en las frecuencias génicas y fenotípicas a través de las generaciones. Las mutaciones, el flujo génico, la selección natural y la deriva génica promueven estos cambios. Después de muchas generaciones, los rasgos fenotípicos pueden variar, de modo que las poblaciones "nuevas" difieren de las poblaciones "antiguas". Sin embargo, los individuos de dichas poblaciones aún pueden seguir formando parte de la misma especie, de manera que hubo evolución pero no formación de especies nuevas.

También puede ocurrir que a partir de una población ancestral se diferencien dos poblaciones. Para que la población que está evolucionando llegue a dar origen a una especie distinta, es necesario que ambas poblaciones queden aisladas. Durante este proceso, en el que van surgiendo las adaptaciones al medio, cada población se va diferenciando más y más de la otra, a tal grado que, con el tiempo, ambas poblaciones constituyen una especie distinta de la otra. En este caso, además de haber ocurrido evolución se ha producido la formación de especies, proceso denominado **especiación**.

Si dos poblaciones son lo suficientemente diferentes como para que no existan cruzamientos entre sus miembros, entonces ha ocurrido **aislamiento**, es decir, el flujo génico entre ambas poblaciones es muy bajo o nulo. Como consecuencia, ambas poblaciones **divergen** o se alejan genéticamente una de la otra, debido a que no existe flujo de genes entre sus miembros, y por lo tanto, se originan especies diferentes.



Esquema que representa evolución sin especiación (A) y evolución con especiación (B). La especiación es un proceso evolutivo, sin embargo, puede haber evolución sin especiación, pero no puede haber especiación sin evolución.

Especiación

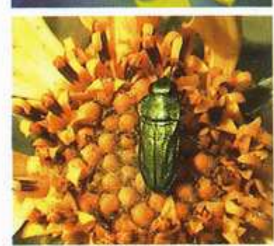
Como se describió anteriormente, **especiación** es el proceso evolutivo mediante el cual surge una nueva especie a partir de una especie preexistente. Para comprender los aspectos biológicos relacionados con la especiación, es necesario conocer el significado de especie.

Existen diferentes **conceptos de especie**, pero uno de los más reconocidos por los científicos, es el **concepto biológico de especie**, propuesto por Ernest Mayr, un biólogo que se destacó durante el siglo pasado por sus aportes a la biología evolutiva. De acuerdo con su definición, una especie es un conjunto de poblaciones cuyos individuos se cruzan entre sí y dejan descendencia fértil. Además, una especie se encuentra **aislada reproductivamente** de otra especie. De acuerdo con la visión neodarwinista, las especies también son conjuntos de individuos que poseen un acervo genético común.

Dos de los conceptos de especie más utilizados, además del concepto biológico, son el **concepto evolutivo** y el **concepto ecológico**. De acuerdo con el primero, una especie es un conjunto de individuos que comparten una historia evolutiva común. Esta definición tiene la ventaja de ser aplicable a especies vivientes y extintas, y a organismos de reproducción sexual y asexual. Sin embargo, la desventaja es determinar qué se considera una "historia evolutiva común". Respecto al concepto ecológico, las especies son las unidades fundamentales de los ecosistemas: una especie es un conjunto de organismos que explota un **nicho ecológico** común. La desventaja de este concepto radica en distinguir especies con nichos ecológicos muy parecidos.



Aislamiento reproductivo. Se considera como mecanismo de aislamiento reproductivo cualquier barrera que evite el flujo de genes entre las poblaciones en proceso de especiación, o entre las especies. Por ejemplo, en muchos insectos, como ciertas especies de abejas, se ha demostrado la existencia de hormonas que permiten que los machos reconozcan a las hembras de su propia especie y no de otras especies, lo cual representa un ejemplo de asilamiento reproductivo.

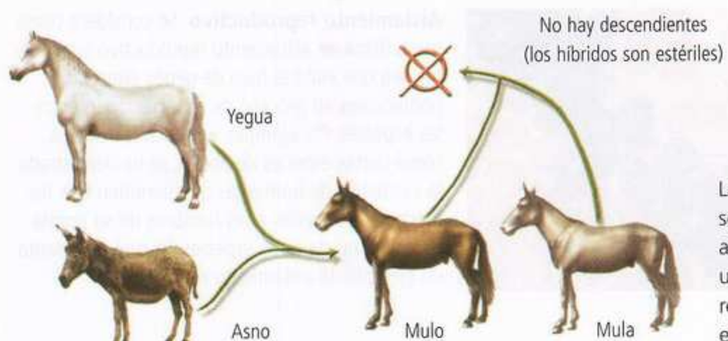


En la imagen se observan dos especies de una familia de coleópteros. Ambas especies se encuentran aisladas reproductivamente debido a la incompatibilidad estructural de sus órganos reproductores, lo cual hace imposible la cópula (aislamiento mecánico).

Mecanismos de aislamiento reproductivo

Existen diversos mecanismos por los cuales pueden quedar reproductivamente aisladas dos o más poblaciones de la misma especie. Estos mecanismos pueden clasificarse en dos tipos: mecanismos precigóticos y mecanismos postcigóticos.

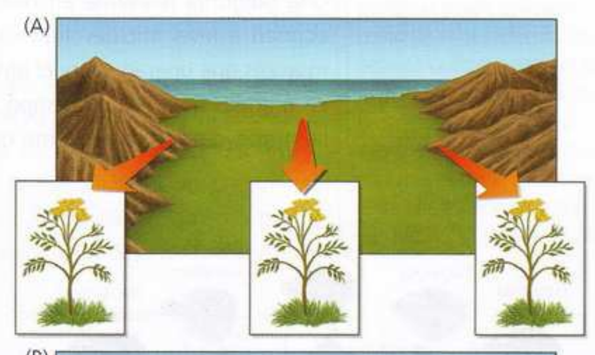
- **Mecanismos precigóticos**. Actúan antes de que exista fecundación, de modo que impiden que se forme el cigoto. Dentro de este tipo está el **aislamiento ecológico**, que ocurre entre especies muy emparentadas que viven en una misma localidad, pero en ambientes diferentes, por lo cual los organismos no se aparean en época reproductiva. También existe el **aislamiento temporal** o **estacional**, en que los organismos de diferentes especies que viven en un mismo hábitat, se reproducen en diferentes períodos del año. También puede ocurrir que a pesar de ocupar el mismo hábitat, las conductas de cortejo sean diferentes, lo que se conoce como **aislamiento conductual** o **etológico**. Otro tipo es el **aislamiento mecánico**, en el cual los organismos de especies diferentes pueden intentar aparearse, pero los gametos masculinos no ingresan al interior del sistema reproductor femenino, ya que los órganos copuladores presentan estructuras, formas o tamaños incompatibles.
- **Mecanismos postcigóticos**. Ocurren después de la fecundación y operan si la composición genética aportada por los gametos de organismos pertenecientes a poblaciones que están en proceso de especiación es incompatible. En algunos casos se forman **cigotos híbridos**, pero el desarrollo embrionario se interrumpe (**inviabilidad de los híbridos**). Sin embargo, existen ocasiones en que los cigotos híbridos pueden desarrollarse hasta convertirse en organismos con similar aspecto de un adulto, pero estériles (**esterilidad de los híbridos**).



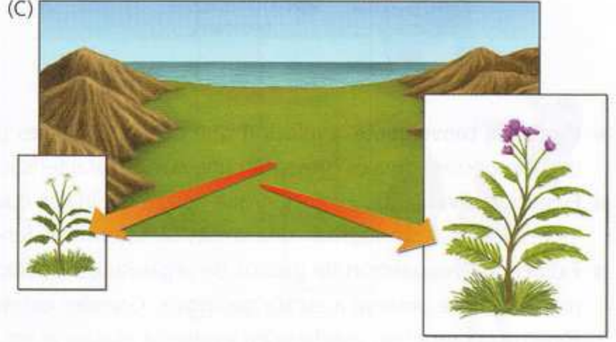
La mula es un híbrido estéril que se origina del cruce entre un asno y una yegua. Representa un ejemplo de aislamiento reproductivo postcigótico de esterilidad de los híbridos.

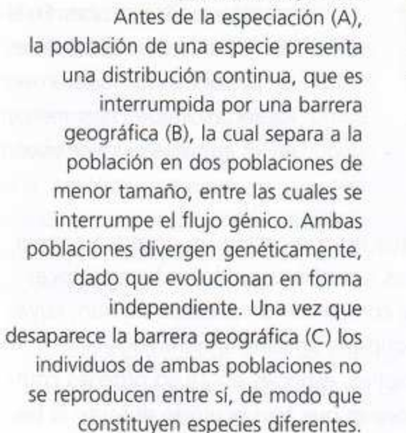
Formas de especiación

Los biólogos evolutivos consideran que existen diferentes formas o mecanismos de especiación, entre las cuales la especiación alopátrica y la especiación simpátrica han sido objeto de mucha investigación. La **especiación alopátrica** ocurre en poblaciones que quedan separadas producto de una barrera geográfica, interrumpiéndose el flujo génico entre ellas. Como consecuencia se produce una divergencia genética que origina especies nuevas, incluso si la barrera desaparece y existe posibilidad de interacción entre los organismos de ambas especies. La **especiación simpátrica** se presenta en poblaciones que se distribuyen en un ambiente muy heterogéneo. Esta diversidad ecológica hace que algunas poblaciones, especialmente las sujetas a condiciones más extremas, comiencen a divergir hasta el punto de modificar sus estructuras o mecanismos reproductivos; lo que conduciría a la formación de especies diferentes.







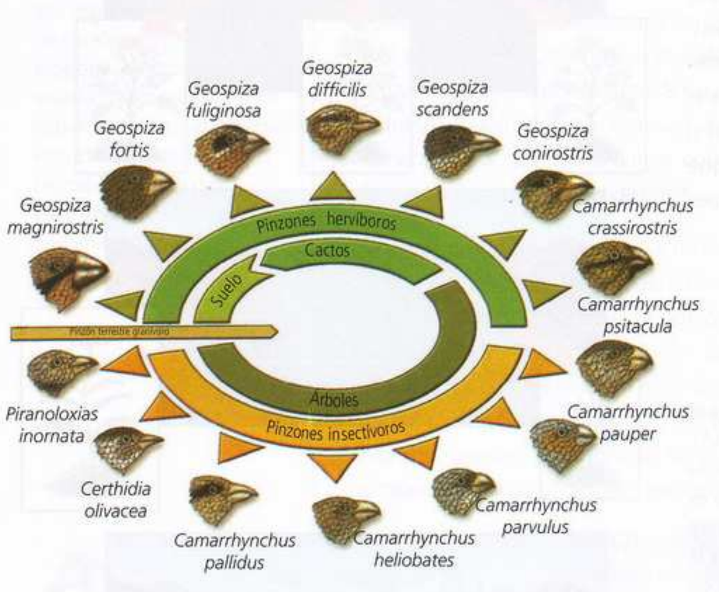


Especiación alopátrica. Antes de la especiación (A), la población de una especie presenta una distribución continua, que es interrumpida por una barrera geográfica (B), la cual separa a la población en dos poblaciones de menor tamaño, entre las cuales se interrumpe el flujo génico. Ambas poblaciones divergen genéticamente, dado que evolucionan en forma independiente. Una vez que desaparece la barrera geográfica (C) los individuos de ambas poblaciones no se reproducen entre sí, de modo que constituyen especies diferentes.

14 Macroevolución

En términos generales, el proceso evolutivo se puede analizar en dos escalas diferentes. El estudio de las transformaciones que ocurren a nivel de especie o a nivel de población a través de los mecanismos de selección natural, deriva genética y flujo génico, se conoce como **microevolución**. Si el cambio evolutivo ocurre por encima del nivel de especie (en categorías taxonómicas más amplias como género u orden) y a través del tiempo geológico, entonces el enfoque es conocido como **macroevolución**. Algunos procesos macroevolutivos son: la radiación adaptativa, la evolución convergente, la evolución divergente y la extinción.

Una pregunta relevante en biología evolutiva es si los procesos que ocurren a nivel microevolutivo son suficientes para explicar cambios mayores que operan sobre el nivel de especie, los cuales son evidentes en grandes períodos de tiempo. Si la macroevolución es producto de la microevolución es un punto que aún está en debate.



- **Radiación adaptativa**. Rápida diversificación de especies a partir de una especie ancestral (en un corto período de tiempo a escala geológica), adaptándose a variadas condiciones ecológicas presentes en una región determinada.

El esquema representa la radiación adaptativa ocurrida en las islas Galápagos en diferentes especies de pinzones. En el dibujo se muestran especies de pinzones, que difieren en los recursos que consumen y en los ambientes donde viven.

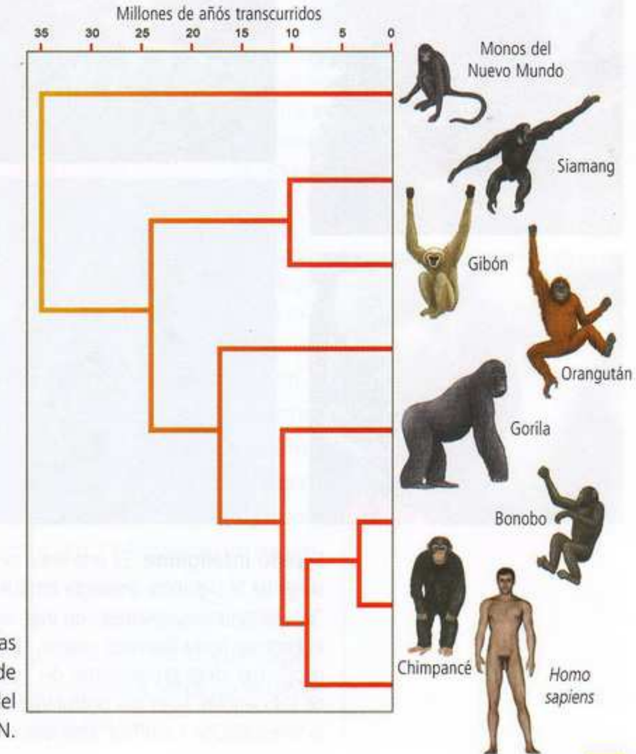
- **Evolución convergente**. Evolución que ocurre en linajes que no comparten un ancestro común, cuyas especies actuales presentan una o más características fenotípicas similares, homoplásicas
- **Evolución divergente**. Evolución que ocurre en linajes que comparten un ancestro común, cuyas especies actuales presentan una o más características fenotípicas similares u homólogas.
- **Extinción**. Desaparición de grupos de organismos (poblaciones, especies e incluso órdenes completos) que se observa a escala geológica. Grandes extinciones que han ocurrido durante la historia de la tierra han quedado en evidencia gracias al estudio del registro fósil.

Macroevolución y relaciones de parentesco entre las especies

En la escala de tiempo geológico, una especie permanece hasta que a partir de ella se originan nuevas especies, de las cuales se formarán otras, y así sucesivamente. De esta manera, las especies están emparentadas en mayor o menor grado debido a su historia de origen y diversificación. El grado de parentesco de un grupo de especies puede inferirse a través del análisis que reconstruye la **filogenia** o historia evolutiva de las especies. Esta filogenia puede representarse en un diagrama denominado **árbol filogenético**.

Para reconstruir la filogenia de un grupo de especies se utilizan **homologías** o caracteres fenotípicos compartidos entre estas, cada uno de los cuales puede tener el mismo estado (se expresa de manera similar entre las especies) o diferente estado (presenta variaciones entre las especies). Para efectuar reconstrucciones filogenéticas, también puede utilizarse el ADN (secuencias parciales o completas de uno o más genes). El análisis de las secuencias de ADN, así como de los caracteres fenotípicos, entrega información que permitirá inferir el grado de relación filogenética entre las especies. Este análisis no consiste solamente en comparar las especies, en cuanto a la similitud o diferencia de sus caracteres fenotípicos o de su ADN, sino que por medio de diferentes métodos y tomando en cuenta distintos supuestos evolutivos (por ejemplo, modelos de evolución más simples o más complejos, probabilidad de cambios, etc.), se obtiene una hipótesis respecto de las relaciones entre las especies. Estas hipótesis filogenéticas pueden modificarse si las evidencias así lo permiten.

Reloj molecular. Considerando que la tasa de mutación en algunos genes estudiados es constante, la diferencia en la secuencia de un gen o de una proteína común a dos especies es proporcional al tiempo transcurrido desde su divergencia a partir de un antepasado común. Así, cada uno de estos genes (o cada proteína) puede utilizarse como un reloj molecular que permite calibrar y estimar el tiempo en que han ocurrido un número de cambios o eventos evolutivos en uno o más linajes (línea evolutiva entre una especie ancestral y la respectiva especie actual).



Árbol filogenético que muestra las relaciones entre algunas especies de primates, elaborado a partir del análisis de secuencias de ADN.

15 Teorías sobre el origen de la vida

Las líneas de pensamiento que históricamente han intentado explicar el origen de los seres vivos, pueden distinguirse entre aquellas que tienen una base científica y aquellas que no la tienen. En estas últimas se encuentran las ideas de índole teológica que, en culturas occidentales, asignaron a Dios la creación directa de la vida junto con toda la diversidad de organismos existentes. Esta corriente denominada **Creacionismo**, se sostuvo principalmente hasta fines del siglo XIX.

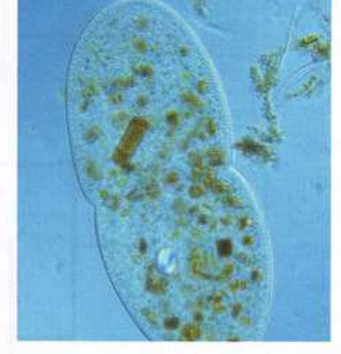
Entre las teorías científicas que han intentado explicar el origen de la vida, tres se destacan por la gran discusión que han generado en la comunidad científica, respaldadas con evidencias que surgen de la observación y también desde la experimentación. Estas teorías son la **abiogénesis**, dentro de la cual se encuentra la **generación espontánea**, el **origen químico de la vida** (que también tiene elementos de la abiogénesis), y la **panspermia** (origen a partir de partículas extraterrestres).











Todos estos seres vivos forman parte de especies que se han originado y diversificado a partir de otros organismos, producto de la evolución. Sin embargo, los primeros seres vivos se originaron a partir de materia inorgánica.

Diseño inteligente. Es una línea del pensamiento creacionista más reciente que surge de la siguiente analogía atribuida al teólogo William Paley (1743–1805): "Los organismos vivientes son más complejos que relojes… Sólo un diseñador inteligente pudo haberlos creado, como un relojero inteligente puede fabricar un reloj". Las ideas provenientes del "diseño inteligente" están alejadas del ámbito de las ciencias, pues sus postulados no corresponden a conclusiones producto de la investigación científica, sino que son planteadas desde las creencias religiosas.

Abiogénesis

La abiogénesis explica el origen de los seres vivos en el presente, así como el surgimiento de los primeros organismos en el planeta a partir de la materia inerte. Esta línea de pensamiento dominó el mundo científico desde la época de los filósofos griegos, es así como Aristóteles sostenía que animales y plantas se originaban por **generación espontánea**, es decir, espontáneamente a partir de restos de seres vivos en descomposición, del barro o la basura.

La hipótesis de generación espontánea fue rechazada por **Francesco Redi** (1626-1697), quien en 1665 demostró que los gusanos que se producían en la carne en descomposición eran larvas de moscas, las cuales no aparecían si se protegía la carne con una gasa.



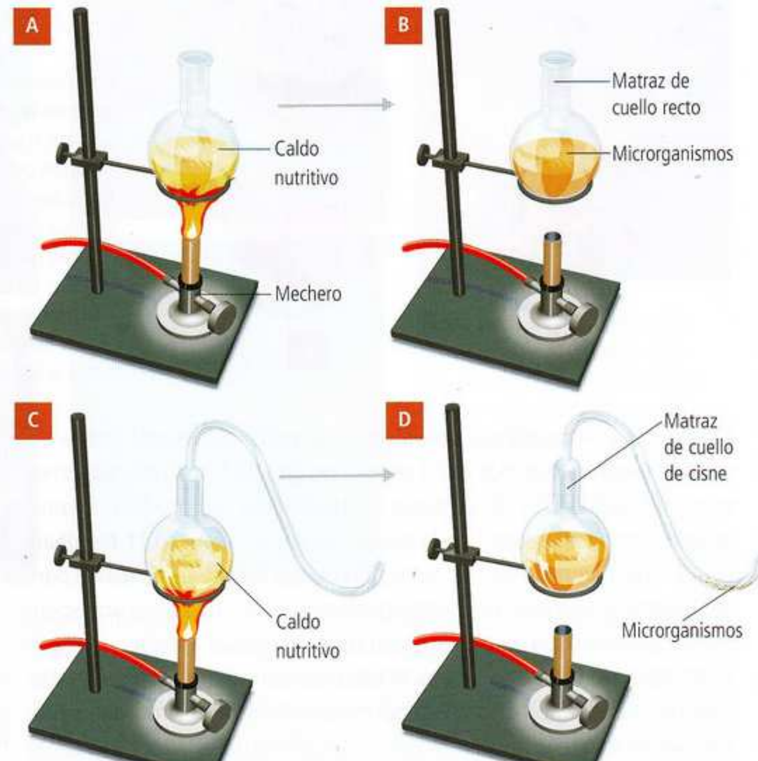
En su experimento, Francesco Redi colocó un trozo de carne en un frasco abierto (A) y en un frasco tapado con una gasa muy fina que permitía la entrada de aire (B). Redi observó que en el recipiente abierto se desarrollaron larvas debido a que las moscas podían entrar y depositar sus huevos. En cambio, en el otro frasco, las moscas depositaron sus huevos en la tela pero no se desarrollaron larvas sobre la carne.

La aparición "espontánea" de **microorganismos** que descomponían la materia orgánica fue más difícil de refutar, ya que los microorganismos eran muy pequeños y no se podía ver claramente si procedían de otros antecesores o "aparecían" de la materia inerte. El científico **J.T. Needham** (1713-1781) propuso que las moléculas inertes podían reagruparse para dar lugar a la aparición de microorganismos. En 1748 realizó un experimento que consistía en poner en un tubo de ensayo "caldo de un animal". Posteriormente se tapaba el tubo con un corcho, y se calentaba. Después de algunos días, el caldo estaba lleno de microorganismos. Así, Needham creyó aportar evidencia experimental a favor de la generación espontánea, al menos, en los microorganismos.

Evidencias en contra de la generación espontánea

Lazzaro Spallanzani (1729-1799) era contrario a la idea de la generación espontánea y dudaba de los resultados de Needham, pues suponía que los tubos de ensayo donde había realizado su experimento no habían sido calentados lo suficiente, o que no habían quedado tapados en forma hermética. Con el objetivo de poner a prueba la idea de la generación espontánea, Spallanzani realizó una serie de experimentos que demostraron que la presencia de microorganismos en los "extractos" (sustancias que permiten el crecimiento de microorganismos) puede evitarse si se hierven y luego se mantienen cerrados herméticamente.

Finalmente, **Louis Pasteur** (1822-1895) alrededor de 1860 demostró que en el aire hay gran cantidad de microorganismos, los que son responsables de la descomposición de la materia orgánica, con lo cual la generación espontánea quedó desechada como hipótesis explicativa del origen de los seres vivos.



Pasteur puso una solución con sustancias orgánicas en matraces de cuello recto y en matraces de cuello de cisne. Posteriormente los hizo hervir (A y C, respectivamente). Después de un tiempo, tomó muestras de ambos matraces y detectó microorganismos en el caldo contenido en el matraz de cuello recto (B). Por el contrario, en el líquido del matraz de cuello de cisne no encontró microorganismos, solo los detectó en el cuello del matraz (D).

Panspermia

El químico sueco **Svante Arrhenius** (1859–1927) propuso en 1903, la teoría de la **panspermia** (semillas en todas partes), según la cual la vida no se originó en la Tierra sino que provino desde el espacio exterior en forma de esporas que viajan impulsadas por la presión ejercida por la radiación proveniente de las estrellas. Muchos científicos han objetado esta idea, argumentando que los organismos unicelulares no soportan condiciones de tan baja temperatura, como en el espacio exterior, ni tampoco resisten la radiación solar (ultravioleta). Sin embargo, los defensores plantean que hasta el momento no hay evidencias que la radiación y las bajas temperaturas sean factores limitantes para la supervivencia de algunos organismos unicelulares.

Evidencias a favor de la panspermia

Importantes han sido los planteamientos de dos científicos, **Chandra Wickramasinghe** y **Fred Hoyle**, quienes en 1974 propusieron que el polvo interestelar estaba compuesto por partículas orgánicas. Por otra parte, estos científicos concluyeron que cuando un cometa se acerca a la Tierra deja un rastro de polvo que al ser analizado químicamente parece ser orgánico, similar a la composición molecular de una bacteria. Sobre esta base y con estudios posteriores, hipotetizaron que la vida en la Tierra se formó a partir de microorganismos de origen extraterrestre.

La teoría de la panspermia también es conocida como **teoría cosmozoica**, ya que este nombre indica que la vida se habría originado fuera de nuestro planeta. Evidencias a favor de estas teorías son los hallazgos de compuestos orgánicos en diferentes meteoritos. Por ejemplo, análisis efectuados en el meteorito **Orgueil**, mostró que la materia orgánica que contenía consistía principalmente en los aminoácidos glicina y beta-alanina. Por otra parte, análisis de los meteoritos **Murchison** y **Murray**, permitieron identificar más de 70 aminoácidos, entre los que se encuentran alanina, valina, ácido aspártico y ácido glutámico. Además, en el primero, recientemente se identificaron productos provenientes de la degradación de azúcares, lo que ha puesto de manifiesto la existencia de la síntesis de azúcares en ambientes prebióticos, paso de suma importancia en la determinación del origen de la vida.



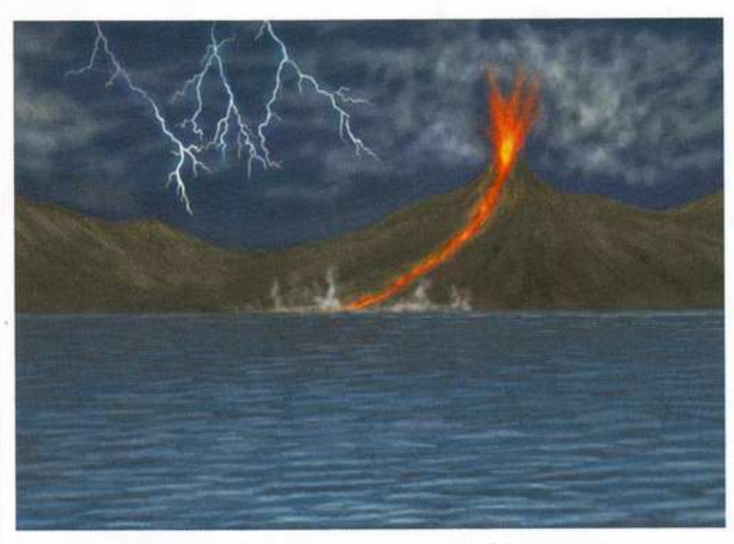
Según la panspermia, meteoritos y cometas podrían transportar materia orgánica de un planeta a otro.

Primeros polímeros. Entre las moléculas orgánicas que se originaron en la "sopa primordial" se encontraban aminoácidos, azúcares simples y ácidos orgánicos. Algunos científicos sostienen que también debe haber existido polímeros más complejos capaces de autorreplicarse. Las moléculas que de manera más probable cumplirían con esta característica serían parecidos al ARN encontrado actualmente.

Origen químico de la vida

El bioquímico ruso **Alexander Oparin** y el biólogo inglés **John Haldane** propusieron en forma independiente, en la década de 1920, una hipótesis con mayor fundamento que sus predecesores, que consistía básicamente en el surgimiento de la vida en la Tierra después de un largo período de **evolución molecular abiogenésica**.

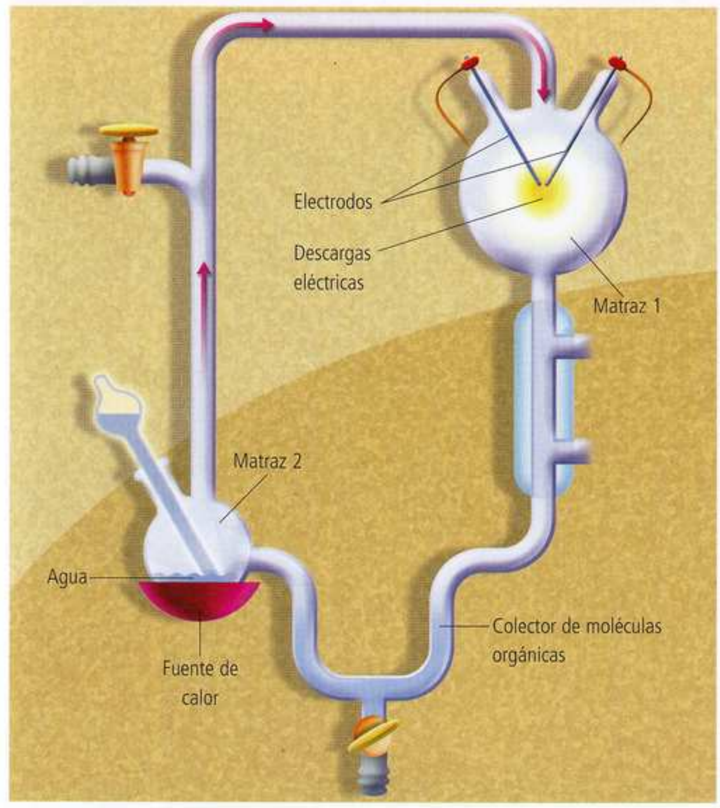
Según la hipótesis de Oparin, cuando se formó la Tierra, hace unos 4.500 millones de años atrás, existían condiciones ambientales muy diferentes a las actuales: la atmósfera estaba formada principalmente por gases como el metano, el amoniaco y el vapor de agua. Estos gases estaban constantemente sometidos a una fuerte radiación ultravioleta y a descargas eléctricas que posibilitaron que reaccionaran entre sí formando moléculas inorgánicas simples, las cuales fueron arrastradas por las lluvias hacia los mares primitivos, llamados por Oparin "**caldo** o **sopa primordial**". Las altas temperaturas de este caldo primordial posibilitaron que las moléculas inorgánicas simples presentes en él reaccionaran químicamente y formaran moléculas orgánicas, las que luego dieron origen a otros compuestos más complejos, que en algún momento se rodearon de una membrana (constituida por moléculas orgánicas) que les permitió intercambiar materia y energía con el medio líquido que las rodeaba. Así, a partir de estos agregados moleculares llamados **coacervados** se habrían constituido las primeras células.



Representación del paisaje de la Tierra hace 4.000 millones de años.

Evidencias a favor del origen químico de la vida

La hipótesis de Oparin y Haldane fue puesta a prueba y apoyada por un experimento efectuado por los bioquímicos estadounidenses **Stanley Miller** y **Harold Urey** en la década de 1950, quienes produjeron moléculas orgánicas a partir de una mezcla de moléculas inorgánicas que se suponía eran constituyentes de la atmósfera primitiva, a las que se sometía periódicamente a descargas eléctricas. Los resultados obtenidos por Miller y Urey avalaron la hipótesis sobre el origen químico de la vida y permitieron revitalizar en tiempos recientes la vieja idea de la abiogénesis, con un enfoque un tanto diferente. Por esta razón la vigente teoría del origen químico de la vida también es considerada como parte de la línea abiogenésica.



Experimento de Miller y Urey. El matraz 1 contenía una mezcla de gases que se pensaba existían en la Tierra primitiva, antes del origen de los seres vivos. En el matraz 2 se hirvió agua para producir vapor de agua, de manera que los gases circularan por el sistema. Luego de someter los gases a descargas eléctricas, mediante el uso de electródos, los gases reaccionaron entre sí dando origen a compuestos orgánicos.

16 Historia de la vida en la Tierra

Para estudiar todos los acontecimientos tanto geológicos como biológicos que han ocurrido desde la formación de nuestro planeta (hace un 4.500 millones de años) se ha definido una escala cronológica que divide la historia de la Tierra en **eras**, **períodos** y **épocas geológicas**.

La siguiente cronología muestra los principales eventos evolutivos en la historia de la vida en la tierra de acuerdo con el registro fósil de diferentes períodos geológicos.

Era	Período	Tiempo (millones de años atrás)	Principales acontecimientos
Precámbrico		3800 – 550	Origen de las primeras células.
Paleozoico	Cámbrico	550	Primeros artrópodos (trilobites).
	Ordovícico	505	Primeros peces. Extinción (fin del Ordovícico).
	Silúrico	438	Primeras plantas terrestres.
	Devónico	408	Primeros insectos.
	Carbonífero	360	Primeros anfibios.
	Pérmico	286	Extinción (fin del Pérmico).
		245	

Era	Período	Época	Tiempo (millones de años atrás)	Principales acontecimientos
Mesozoico	Triásico		245	Primeros dinosaurios. Primeros mamíferos.
	Jurásico		208	Primeras aves.
	Cretácico		144 – 65	Primeras plantas con flores. Extinción (final del Cretácico).
Cenozoico	Paleógeno	Paleoceno	65	
		Eoceno	57	Primeros caballos. Primeras ballenas. Primeros monos.
		Oligoceno	34	Primeros simios.
	Neógeno	Mioceno	23	Primeros homínidos.
		Piloceno	5	
		Pleistoceno	1,8	Primeros humanos modernos.
		Holoceno	0,01 – 0	Dispersión de la especie humana por el planeta.

17 Evolución de las primeras formas de vida

Atmósfera reductora. Alrededor de 3.800 millones de años atrás, cuando surgen las primeras formas de vida, la atmósfera terrestre estaba formada por una combinación de gases que provenían de las emanaciones volcánicas, tales como, dióxido de carbono (CO_2), amoniaco (NH_3), metano (CH_4), hidrógeno (H_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y vapor de agua. Con esta combinación y la ausencia total de oxígeno, la atmósfera era reductora.

Los primeros seres vivos

Los primeros organismos en habitar la Tierra fueron organismos muy sencillos denominados procariontes, los cuales eran unicelulares y anaeróbicos (no requerían oxígeno en su metabolismo). Basándose en la existencia de un "caldo primitivo", se puede postular que estos organismos eran **heterótrofos fermentadores**, es decir, conseguían las moléculas orgánicas del ambiente externo y, por medio de procesos de fermentación (metabolismo anaeróbico), obtenían la energía y las **biomoléculas** necesarias para su crecimiento y reproducción. La fermentación, por tanto, posibilitaba la vida de estas células en una **atmósfera reductora** como la de entonces.

Los organismos fermentadores tenían limitada posibilidad de vida en lugares con ausencia de moléculas orgánicas, por lo que grandes zonas del planeta estaban inhabitadas. Surgieron entonces, hace unos 3.000 millones de años, organismos capaces de utilizar la luz solar como fuente de energía a través de un proceso de **fotosíntesis anoxigénica**, es decir, sin la obtención de oxígeno. Para realizar la fotosíntesis es necesaria una fuente de átomos que ceda sus electrones para reducir el CO_2. La fotosíntesis anoxigénica que estos organismos primitivos realizaban no era capaz de romper la molécula de agua y utilizarla como dadora de electrones y, por tal razón, no se desprendía oxígeno. Así, fue la molécula de H_2S presente en la atmósfera de esos tiempos la que cedía los electrones que reducían el CO_2, con lo que se obtenía materia orgánica. La reacción química de este tipo de fotosíntesis se resume en la siguiente ecuación:

$$CO_2 + 2H_2S \xrightarrow{\text{luz solar}} CH_2O + H_2O + 2S$$

La síntesis de materia orgánica a partir de materia inorgánica (CO_2), usando como fuente de energía la radiación solar, permitió a estos organismos liberarse de su dependencia a las moléculas orgánicas del ambiente que los rodeaba.

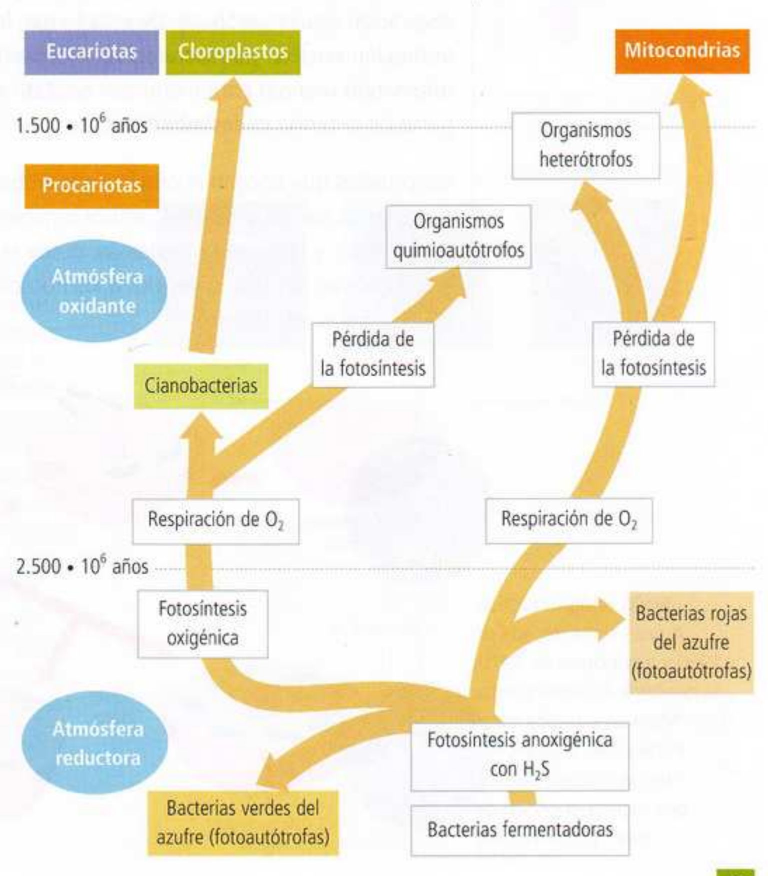
Las bacterias verdes y rojas del azufre, que utilizan el H_2S como dador de electrones, son dos grupos actuales, representantes de estos organismos primitivos.

Los primeros organismos aeróbicos

Los unicelulares existentes habrían evolucionado dando origen a las **cianobacterias** hace unos 2.500 millones de años. Estos organismos fotoautótofos estrictos incorporaron en su metabolismo un mecanismo para la fotólisis del agua, lo que permitió obtener los electrones para reducir CO_2 a materia orgánica. De esta forma, la fotosíntesis pasó a ser un proceso **aeróbico** que posibilitó la liberación de grandes cantidades de oxígeno al ambiente.

Además, el oxígeno liberado a la atmosfera por medio de la fotosíntesis comenzó a ser empleado por **organismos quimioheterótrofos** en un nuevo proceso: la **respiración aeróbica**, que consiste en la obtención de energía a partir de la oxidación de moléculas orgánicas, liberando CO_2 y H_2O.

Paralelamente aparecieron los organismos quimioautótrofos o quimiosintetizadores, capaces de obtener energía mediante la oxidación de materia inorgánica. Estos organismos solo necesitan para vivir, oxígeno, agua, sales minerales y compuestos inorgánicos reducidos. Actualmente, solo procariontes realizan reacciones de quimiosíntesis, entre estos se encuentran las bacterias que oxidan compuestos de nitrógeno, las cuales habitan en los suelos y sedimentos marinos, y las bacterias que oxidan compuestos de azufre y que viven en el fondo oceánico, en pozas termales y algunas también en ambientes creados por el hombre, como los vertidos líquidos de las minas de pirita.



Primeros organismos eucariontes

Hace 1.500 millones de años surgieron las primeras **células eucariontes**, que eran similares a ciertas algas unicelulares actuales. Lo más probable es que el origen de las células eucariontes se encuentre en la **relación simbiótica** que establecieron algunas células procariontes: la célula eucarionte habría evolucionado a partir de una gran célula procarionte anaerobia que habría sido capaz de incorporar en su citoplasma células procariontes aerobias y fotosintetizadoras, las cuales luego de muchas generaciones dieron lugar a los organelos celulares.

Así, las **mitocondrias** debieron ser **bacterias aeróbicas** que al ingresar al citoplasma de la célula hospedera mejoraron enormemente su metabolismo al incorporar la capacidad respiratoria. Posteriormente, a partir de **cianobacterias** se originaron los **cloroplastos**, lo que produjo organismos con dos metabolismos en parte complementarios (fotosíntesis y respiración celular aeróbica). De esta forma, la célula hospedera asumió la función nuclear y se incrementó la superficie membranosa interna, originando una red endomembranosa. Esta sucesión de hechos forma parte de la **teoría endosimbiótica**.

Las pruebas que apoyan el origen endosimbionte de mitocondrias y de cloroplastos son los siguientes: ambos organelos poseen su propio material genético y ribosomas, y además, desde el punto de vista molecular, sus ribosomas son más parecidos a los ribosomas de procariontes que a los de células eucariontes.

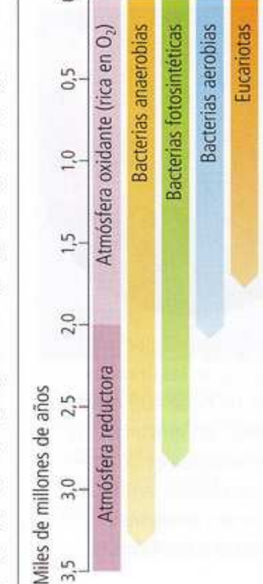
Bacterias aeróbicas
Mitocondrias
Célula procarionte anaerobia
Cianobacterias
Núcleo celular
Célula eucarionte vegetal
Célula eucarionte animal

Teoría endosimbiótica. A fines de la década de 1960 y a principios de 1970, la científica estadounidense Lynn Margulis estudió células eucariontes y publicó la teoría endosimbiótica, que explica el origen de este tipo de células.

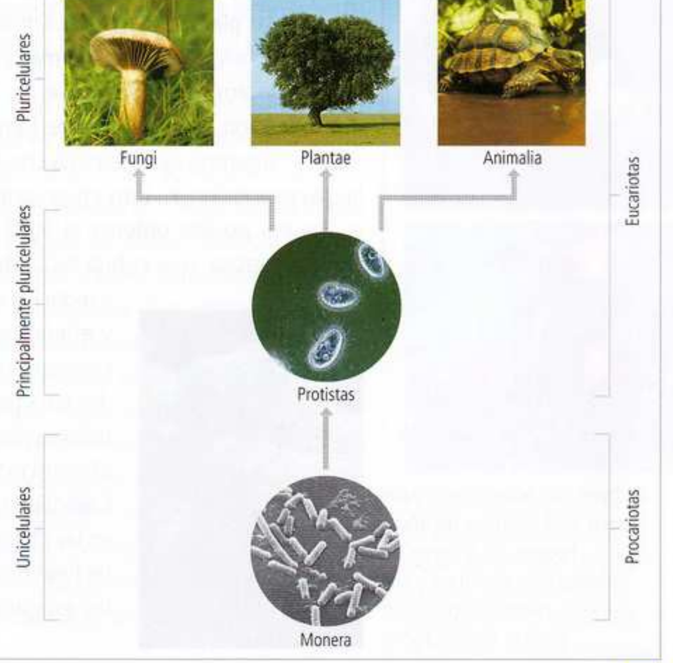
Organismos pluricelulares

Los primeros indicios de organismos **pluricelulares**, es decir, formados por muchas células, surgen con simples asociaciones entre cianobacterias. Luego, 1.000 millones de años atrás las asociaciones celulares existentes comienzan a especializarse en distintas funciones: unas se encargaban de la alimentación, otras de la reproducción, etc. Así, hace unos 800 millones de años, la especialización celular dio origen a la aparición de organismos pluricelulares cada vez mayores, los que pertenecían a dos de los cinco reinos (hongos y protistas).

A medida que los organismos aumentaron su tamaño, por aumento del número de células, cada célula ya no estaba en contacto directo con el medio acuático circundante que les permitía intercambiar nutrientes y desechos. Es así como los organismos evolucionaron hacia el desarrollo de un **medio interno** de composición similar al medio externo que rodea las células y les permite intercambiar sustancias. Las células de los organismos multicelulares se especializaron en determinadas funciones, diferenciándose en **tejidos**. De esta forma, continuó la evolución de la pluricelularidad en organismos cada vez más complejos.



Cronología de la evolución de los primeros seres vivos.



Los cinco reinos. La clasificación de los seres vivos en cinco reinos (Monera, Protista, Fungi, Plantae y Animalia) fue propuesta por R.H. Wittaker en 1959 y se representan como un árbol con diferentes ramas. En la base se encuentra el reino Procariota (bacterias) a partir del cual surgieron los Protistas (en su mayoría protozoos y algas). Los otros tres reinos habrían surgido de distintos grupos de protistas: los organismos del reino Plantae provendrían de un grupo de algas verdes, y los miembros del reino Fungi (hongos) y Animalia se habrían originado de distintos grupos de protistas heterótrofos.

18 Historia evolutiva de las plantas

La colonización del ambiente terrestre



Los registros fósiles más antiguos de las briofitas datan de hace 400 millones de años; sin embargo, las especies actuales de este tipo de plantas continúan habitando ambientes húmedos y sombríos.

Los primeros vegetales surgieron unos 400 millones de años atrás, a partir de pequeñas algas verdes que crecían en suelos húmedos, en los márgenes de masas de agua. En aquel tiempo, el inexplorado ambiente terrestre representó una tremenda oportunidad evolutiva para los organismos vivos, especialmente para las plantas, debido a que ofrecía **radiante luz solar**, fuertemente reducida bajo el agua; **riqueza de nutrientes**, normalmente diluidos en el ambiente acuático y **ausencia de depredadores**. Los primeros grupos de plantas que colonizaron el ambiente terrestre pertenecen a las **plantas no vasculares** o **briofitas** (musgos y hepáticas). Estas plantas poseen una estructura simple: carecen de raíces y de un sistema interno de transporte de sustancias. Así, el agua y los nutrientes son absorbidos por las células del vegetal desde el agua o el aire, pasando de unas células a otras. Además, las briofitas conservaron, de sus ancestros, gametos masculinos flagelados, es decir, espermios que debían nadar para fecundar el óvulo. Por tal motivo estas especies estuvieron restringidas a los ambientes más húmedos, como pantanos o lugares altamente lluviosos, donde los gametos podían ser liberados en el agua, para su encuentro y fecundación.

Otra línea evolutiva que siguieron las primeras plantas terrestres dio origen a las **plantas vasculares** entre las que se encuentran las **pteridófitas** (helechos), las **gimnospermas** y las **angiospermas**. Las plantas vasculares desarrollaron una serie de **adaptaciones** que posibilitaron la diversificación en un ambiente terrestre. Por ejemplo: un sistema de "tubos" internos, que permitía conducir los minerales y el agua, desde las raíces a las hojas; estructuras semejantes a las raíces, a través de las cuales era posible obtener el agua y minerales; el desarrollo de una cubierta cerosa, que cubría las partes del organismo expuestas al aire y reducía la pérdida de agua por evaporación; y el engrosamiento adicional de la pared de ciertas células, que daban al tallo mayor rigidez para permanecer erguido. Con estas adaptaciones, las primeras plantas terrestres se diversificaron extensamente, llegando, en el período Carbonífero, a cubrir extensas franjas de tierra, en las riberas de cuerpos de agua, con bosques de helechos arbustivos y alfombras de diferentes asociaciones de musgos.

Los helechos aparecieron hace unos 350 millones de años. Poseen un sistema de conducción primitivo y sus gametos necesitan del agua para la fecundación.

Evolución de la reproducción en los vegetales terrestres

Algunas especies de plantas vasculares que habitaban ambientes más áridos, evolucionaron hacia estrategias reproductivas independientes del medio acuático. Las primeras especies, con una estrategia de este tipo surgieron hace unos 250 millones de años y corresponden a las **gimnospermas**, representadas, entre otras, por el grupo de las **coníferas**, caracterizadas por sus piñas o conos (araucarias, cipreses y pinos, por ejemplo). En las gimnospermas, el gameto femenino es retenido en la planta adulta y los espermios se diferencian en **granos de polen** que son **transportados por el viento** hasta alcanzar el **cono femenino**, estructura en que se alojan los **óvulos** (gametos femeninos). Complementariamente, otra importante adaptación que surge en las gimnospermas es que, luego de la fecundación, el embrión en desarrollo, antes de ser liberado, es provisto con sustancias de reserva y encapsulado por una cubierta resistente a la desecación formando una **semilla**.



En las gimnospermas evolucionó una estrategia de reproducción que no dependía del medio acuático.

A finales del Pérmico (aproximadamente 245 millones de años atrás), los cambios geológicos provocaron el surgimiento de montañas y el clima se hizo más seco, reduciendo drásticamente los hábitats húmedos y pantanosos. Esto produjo la extinción de grandes grupos de helechos y musgos, pero las coníferas se diversificaron y distribuyeron en el planeta.

El último grupo que aparece, en esta historia evolutiva, son las **angiospermas** o **plantas con flores**, que evolucionaron a partir de algunas especies semejantes a las coníferas, hace unos 130 millones de años atrás. Aparentemente, la ventaja de las plantas con flores fue su mayor eficiencia y rapidez en la reproducción. Las coníferas, debido a que son polinizadas por el viento, deben producir grandes cantidades de polen, para que solo algunos alcancen su objetivo. Sin embargo, en las angiospermas la **estructura floral** ha evolucionado estrechamente ligada a la polinización por insectos. Con estos u otros grupos de organismos como polinizadores, las plantas requieren menor cantidad de polen para lograr éxito en la fecundación. Además, la formación del **fruto**, que es una característica distintiva de las angiospermas, protege y facilita la dispersión de la semilla. Durante su historia evolutiva las plantas con flores han desarrollado un considerable número de otras adaptaciones, más específicas, que les han permitido alcanzar una gran variedad de ambientes, llegando actualmente a ser el grupo más diverso entre las plantas.





El éxito reproductivo de las angiospermas se debe a que desarrollaron flores y frutos que favorecen la polinización y la dispersión de semillas, respectivamente.

19 Historia evolutiva de los animales


Restos fósiles de trilobites, animales primitivos que fueron muy abundantes durante el Paleozoico.

De acuerdo con el registro fósil, en el Cámbrico surge una gran diversidad de especies animales, muchas de ellas semejantes y claramente ancestrales a las formas animales actuales. En las primeras especies, que fueron **invertebrados**, la organización corporal en relación al tracto digestivo fue uno de los primeros y más básicos rasgos adaptativos. Los primeros animales poseían una organización corporal en forma de un saco con un sistema digestivo con solo una abertura, es decir, ingerían su alimento y expulsaban los desechos por la misma cavidad. A partir de estas especies, surgieron otras con un sistema digestivo que separaba la abertura por donde ingresaba el alimento de aquella por donde salen los restos, como ocurre en el ser humano.

Los primeros animales con esqueleto

El motor de la aparición de nuevas y más especializadas adaptaciones fue, quizás, la relación entre predador y presa. La búsqueda de presas y la necesidad de moverse con rapidez para huir del depredador, condujo a la diversificación de los modos de locomoción. Estos mecanismos debieron ser acompañados por la contracción muscular, que permitía mover partes del cuerpo. Sin embargo, para su contracción, la musculatura debía estar sujeta a alguna estructura rígida del cuerpo, como un esqueleto. Así, entre los invertebrados evolucionó el **esqueleto externo** o **exoesqueleto**. Los **trilobites** (hoy extintos) son los organismos con exoesqueleto de los que se tiene el registro más antiguo.

Artrópodos

El proceso evolutivo de los animales continuó en los grupos acuáticos. Sin embargo, el ambiente terrestre proveyó la oportunidad para la diversificación de otros grupos de animales. Poco después de que las plantas conquistaron la tierra, las siguieron los artrópodos, que resolvieron las restricciones impuestas por la vida terrestre mediante el desarrollo del esqueleto externo. Esta dura estructura que rodea el cuerpo –por ejemplo de las langostas y los cangrejos actuales– sirvió como una cubierta a prueba de agua y fue lo suficientemente resistente para soportar el peso de un pequeño animal, en contra de la fuerza de gravedad.

Las especies de artrópodos actuales pertenecen a cuatro grupos: miriápodos, arácnidos, crustáceos e insectos.




Animales con esqueleto interno

En otros animales surgió una forma distinta de sostener el resto del cuerpo: el **esqueleto interno**. Es de este grupo que más tarde, alrededor de 400 millones de años atrás, se originaron los primeros **peces**. Junto con estas habilidades de movimiento, debió desarrollarse una mayor capacidad sensorial y un **sistema nervioso** más sofisticado. En algunos grupos de especies animales, estos sentidos se desarrollaron en el extremo anterior del animal, mejorando la coordinación y dirección del movimiento.

Los primeros vertebrados terrestres

El primer grupo de vertebrados que colonizó el ambiente terrestre fue el de los **anfibios**, que derivaron de un tipo de peces que presentaba dos preadaptaciones que posibilitaron el desarrollo de la vida en la tierra: aletas fuertes y robustas que les permitían arrastrarse en el fondo de pozas poco profundas, y una vejiga o bolsa derivada del tracto digestivo que podía ser llenada de aire, como pulmones primitivos. Estos atributos les permitieron buscar refugio, durante períodos más secos, moviéndose entre pozas poco profundas y pobres en oxígeno, situación que soportaban llenando de aire sus rudimentarios pulmones. A partir de estos peces, pero con **pulmones más eficientes** y **extremidades derivadas de las aletas**, surgieron los primeros anfibios hace unos 350 millones de años atrás. Sin embargo, su piel que también se utiliza como una superficie de intercambio gaseoso complementaria a la labor de los rudimentarios pulmones, debe mantenerse siempre húmeda ya que no está protegida contra la desecación. Además, muchos anfibios, como los anuros (anfibios sin cola, como los sapos) requieren del medio acuático para la fecundación de sus gametos. Estas dos últimas características restringieron a los anfibios a vivir ligados a las riberas de los cuerpos de agua.

Vertebrados. Los vertebrados (peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos), pertenecen a un grupo más amplio de animales, los cordados, en el que también se encuentran los urocordados y los céfalocordados. Dos características principales de los vertebrados son: poseer una columna vertebral que se extiende longitudinalmente por el dorso del cuerpo y la concentración de los órganos sensoriales y el cerebro en la región cefálica.


Aunque los anfibios poseen adaptaciones que les permiten una vida terrestre (extremidades y pulmones más simples que otros vertebrados), dependen del medio acuático para respirar y para reproducirse.

Los reptiles y las aves



En la actualidad existen alrededor de 5.000 especies de reptiles, entre los que se encuentran tortugas, serpientes, lagartos y cocodrilos.

Los **reptiles** evolucionaron a partir de un grupo de anfibios. Representados por los dinosaurios, dominaron el ambiente terrestre durante el Mesozoico, colonizando con éxito todos los hábitats posibles. Este grupo de animales desarrollaron al menos cuatro adaptaciones que les permitieron vivir en un ambiente terrestre: **pulmones más complejos** que poseen alveolos, los que aumentan de manera importante la superficie de intercambio gaseoso permitiendo proveer de todo el oxígeno requerido por el organismo; **piel gruesa y escamosa**, para evitar la pérdida de agua; **fecundación interna**, es decir, el depósito de los espermios en la cavidad genital de la hembra, eliminando la necesidad del medio acuático para la reproducción; y el desarrollo del **huevo amniota** que se caracteriza por poseer tres envolturas que rodean al embrión: amnios y corion, que lo protegen durante su desarrollo, y alantoides, que sirve como órgano respiratorio y acumula las sustancias de desecho producidas por el embrión. La membrana más externa o cáscara otorga protección mecánica y contra la desecación.

Los reptiles son animales **ectotermos**, lo que significa que su temperatura corporal fluctúa con la temperatura del ambiente. Por este motivo, una de las mayores dificultades que los reptiles debieron enfrentar en la vida terrestre fue mantener una temperatura corporal lo suficientemente alta como para hacer más eficientes su sistema nervioso y sus músculos. Por ello, en la mayoría de las especies de reptiles ha evolucionado un estilo de vida que implica estar en actividad solo cuando la temperatura ambiental es cálida. Hace unos 200 a 150 millones de años, en dos grupos de pequeños reptiles surgieron independientemente estructuras que les permitieron evitar la pérdida de calor: en un grupo evolucionaron las plumas y en el otro los pelos, dando origen a las aves y a los mamíferos, respectivamente.

Las **aves** son un grupo de vertebrados que ha desarrollado una serie de adaptaciones que les ha permitido la ocupación del medio aéreo: sus extremedidades anteriores se transformaron en **alas**; su cuerpo está recubierto de **plumas** que aparte de funcionar como aislante térmico, colaboran en el vuelo; y **huesos huecos**, lo que disminuye el peso de su esqueleto.

Los mamíferos

Los **mamíferos** surgieron durante la época de mayor apogeo de los dinosaurios (hace unos 200 millones de años) pero solo cuando estos grandes reptiles desaparecieron fue que los mamíferos pudieron diversificarse en mayor medida (alrededor de 70 millones de años atrás).

Los primeros mamíferos vivían en ambientes boscosos, sus hábitos eran nocturnos y se alimentaban principalmente de insectos. Durante su evolución inicial, desarrollaron las características de **homeotermia** (poseen mecanismos internos de regulación de la temperatura corporal), **cubierta corporal con pelos**, **mayor desarrollo cerebral** (en comparación con otros vertebrados) y **viviparismo** (desarrollo del embrión dentro de la madre). Aunque la viviparía no es exclusiva de los mamíferos, en ellos se alcanza un grado de desarrollo superior gracias a la formación de la **placenta**, órgano que permite el intercambio de sustancias entre la madre y el feto durante la gestación. Además, luego del nacimiento, las crías tienen una estrecha relación con la madre quien los alimenta principalmente a través de leche materna producida por sus glándulas mamarias.

A pesar de que la placenta representa un rasgo adaptativo notable en los mamíferos, los primeros mamíferos vivíparos fueron no placentarios (carecían de placenta). Estos animales corresponden a los **marsupiales** cuyas crías nacen en un estado muy inmaduro completando su desarrollo fuera del útero materno, en el interior de una **bolsa marsupial** o **marsupio**. Esta bolsa es un repliegue de la piel de la madre donde las crías se protegen y amamantan hasta alcanzar el estado de madurez necesario para la vida en el exterior. Luego de la aparición de los mamíferos placentarios, los marsupiales fueron desplazados rápidamente. Es decir, los placentarios se diversificaron ampliamente, en parte porque la placenta representa un rasgo adaptativo notable.

Los mamíferos presentan múltiples adaptaciones que se adecuan a su forma de desplazamiento: natación (ballenas), vuelo (murciélagos), excavación (topos), carrera (caballos).









20 Conocimiento científico de *Homo sapiens*

Alguno de los problemas que han estimulado la construcción de teorías		
Problema	**Hipótesis (autores)**	**Teoría**
¿Qué lugar ocupa la Tierra en el Universo?	La Tierra gira en torno al Sol. (N.Copérnico, G. Galilei)	heliocéntrica
¿Qué causa la diversidad de los seres vivos?	Los seres vivos evolucionan y se modifican a partir de un ancestro en común, por acción de la selección natural, o bien de otros factores. (C. Darwin, A. Wallace J. y otros)	de la evolución orgánica.
¿Cuál es la estructura de la materia?	La materia está compuesta de átomos. (J.Dalton, E.Rutherford)	de la estructura atómica de la materia.

En ciencia interesa **conocer la causa de los procesos** que ocurren en el Universo, y **predecir la ocurrencia de nuevos procesos** a partir del conocimiento adquirido. Este conocimiento se obtiene mediante el **planteamiento de problemas** y la **contrastación de hipótesis**. Las hipótesis son respuestas tentativas a estas preguntas, y se ponen a prueba mediante la **observación**, el **registro de datos** y el **control de las variables involucradas en el proceso** que interesa conocer.

Desde un enfoque evolutivo, en el caso de nuestra especie, interesa conocer las respuestas a las siguientes interrogantes: ¿Cuál es el origen de *H. sapiens*? ¿Qué otras especies forman o formaron parte de la familia de los homínidos? ¿En qué nos parecemos y en qué nos distinguimos de nuestros ancestros? ¿Qué factores han causado la aparición de los atributos específicos de *H. sapiens*? ¿Cómo se relacionan los aspectos biológicos y culturales en la evolución de *H. sapiens*?

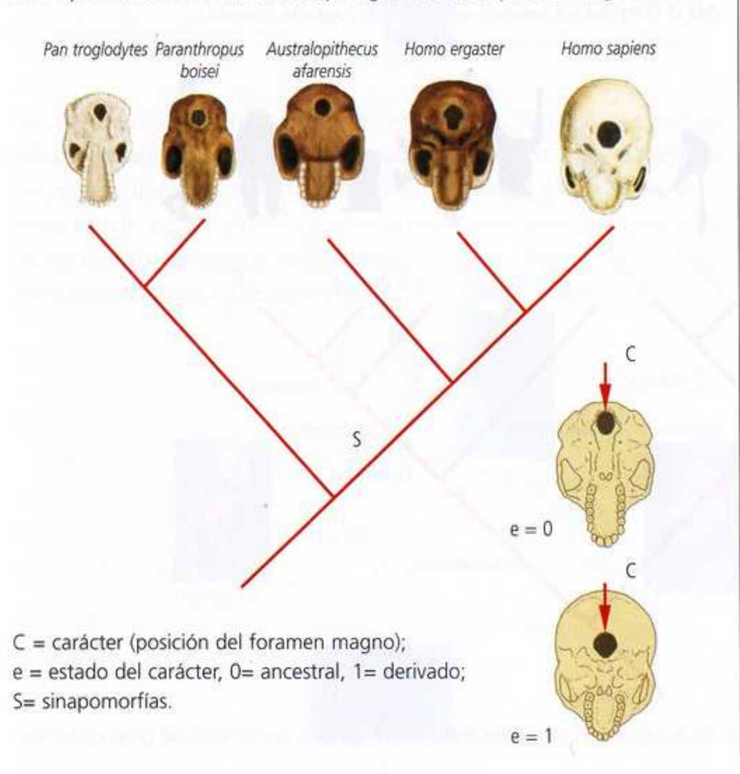
El estudio de la evolución del ser humano se lleva a cabo con ayuda de **técnicas** y **métodos a *posteriori***, es decir, que se aplican luego de ocurrido el evento o proceso en la naturaleza. Debido al carácter único e irreversible de estos eventos cobran gran importancia el **registro** y **datación de restos óseos fosilizados de homínidos**, la **comparación morfológica** de dichos restos con otras especies de primates, tanto extintas como vivas, el **análisis del contexto cultural** en sitios habitacionales y funerarios de representantes del género *Homo*, así como la **obtención y amplificación de secuencias de ADN presentes en fragmentos óseos u otros tejidos**. En la recopilación de estos antecedentes se utilizan técnicas de obtención de resultados y métodos de análisis desarrollados por geólogos, arqueólogos, antropólogos, morfólogos y genetistas, entre otros.

Las hipótesis para responder problemas evolutivos provienen de la **sistemática**, disciplina que tiene por objeto la clasificación de los seres vivos sobre la base del conocimiento de sus relaciones de similitud. En **cladística**, una rama de la sistemática, la similitud se estima aplicando los criterios de homología (caracteres heredados de un ancestro en común, y modificados durante la evolución), **sinapomorfía** (caracteres derivados y compartidos por los miembros del grupo filogenético) y **monofilia** (el grupo filogenético incluye a un ancestro y a todos sus descendientes). Para elaborar una hipótesis cladista se requiere, además, definir la condición o **estado del carácter** en las formas ancestral (de mayor antigüedad en el registro fósil) y derivada (de menor antigüedad en el registro fósil).

Por ejemplo, como se muestra en la figura, los estados del carácter "**posición del foramen magno**" –orificio situado en la base del cráneo y a través del cual pasa el bulbo raquídeo– en representantes de homínidos son:

- estado ancestral, 0 = posterior
  (*Australopithecus afarensis*, 3.2 a 3.8 millones de años) y
- estado derivado, 1= central
  (*Homo ergaster*, 1.8 a 1.2 millones de años y *Homo sapiens*, 190.000–130.000 años),

La imagen bajo las vistas anatómicas representa un **árbol filogenético,** donde **un mismo nodo reúne a especies más emparentadas entre sí** que con cualquier otra especie, y la **longitud de las ramas representa el grado de diferencias acumuladas a lo largo de la evolución a partir de la forma ancestral**. De acuerdo con estos datos, se cumplen las condiciones de homología y similitud, aunque no de monofilia, porque no se incluye a todas las especies derivadas de *A. afarensis* (*A. africanus*, *H. habilis*, *H. heidelbergensis*, *H. neanderthalensis*, etc.). Los árboles en biología evolutiva son representaciones visuales (topologías) de las hipótesis filogenéticas.

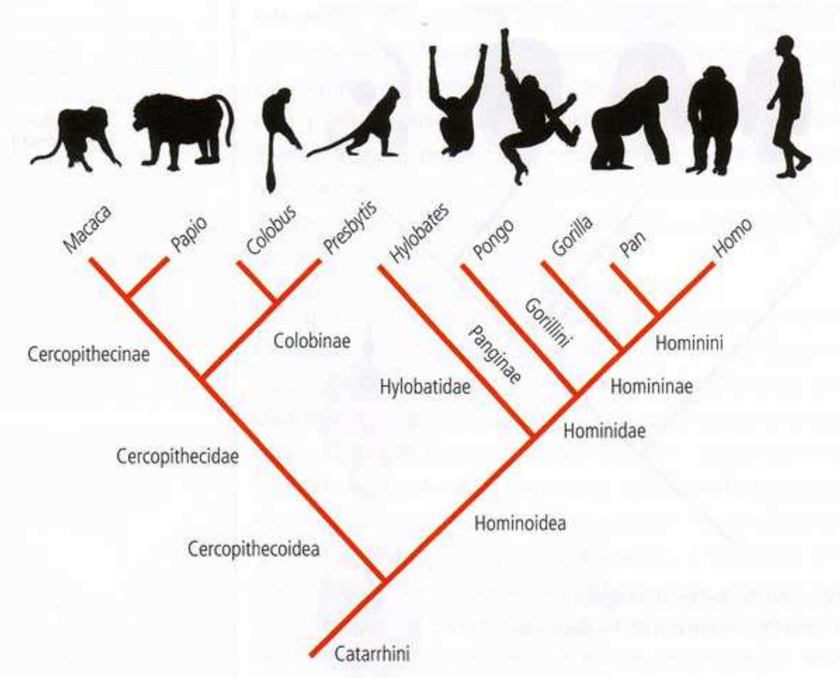


C = carácter (posición del foramen magno);
e = estado del carácter, 0= ancestral, 1= derivado;
S= sinapomorfías.

21 Lugar de *Homo sapiens* entre los primates

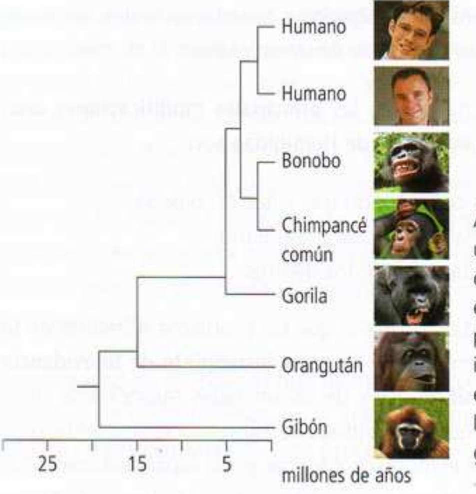
Aplicando una clasificación de los seres vivos basada **en caracteres observables compartidos**, Carlos Linneo, botánico sueco del s. XVIII, agrupó a *Homo sapiens* en el orden Primates, junto con los simios y los lemures. Un siglo después, Charles Darwin postuló que los caracteres compartidos por el ser humano con los demás primates corresponden a versiones modificadas de caracteres presentes en una forma ancestral, de la cual se originaron las especies actuales durante el proceso de la evolución.

Las relaciones de parentesco filogenético de *H. sapiens* con los monos del Viejo Mundo (*Cercopithecoidea*) y los grandes simios (*Hylobates* = gibones, *Pongo* = orangután, *Pan* = chimpancé), son evidencias de que **pertenecemos al orden de los primates**, compartiendo el mayor número de homologías con el chimpancé, luego con el gorila y, finalmente, con el orangután y los gibones. Como muestra la figura, estas relaciones están reflejadas en las divisiones taxonómicas de nuestro linaje: Hominoidea (Superfamilia), Hominidae (Familia), Homininae (Subfamilia), Hominini (Tribu). Algunos autores incluyen en la tribu Hominini sólo a los miembros del género Homo, dejando a los chimpancés (*Pan troglodytes* y *P. paniscus* o chimpancé enano) en una tribu aparte (Panini).



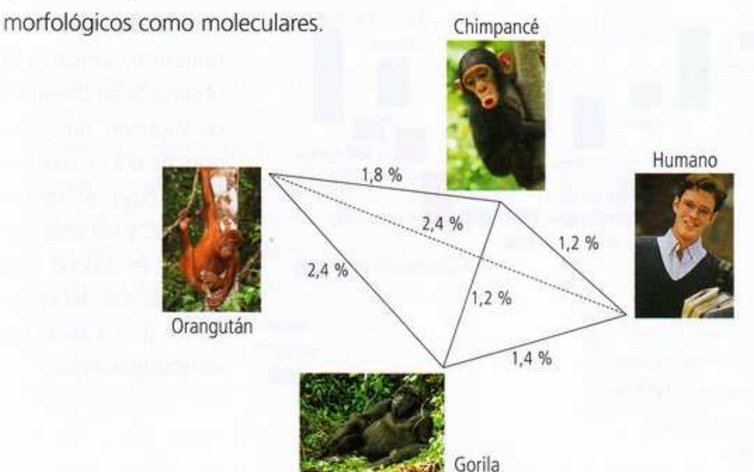
Árbol obtenido a partir del análisis cladístico de 264 caracteres óseos en 18 géneros de primates del grupo catarrino.

El uso combinado de las técnicas de la arqueología (datación de huesos fósiles por radioisótopos) y la sistemática molecular (análisis filogenético de secuencias nucleotídicas) han permitido estimar en **30 millones de años el tiempo de divergencia de las familias Hominoidea (simios) y Cercopithecoidea (monos del Viejo Mundo)**, y entre **7 y 5 millones de años** el tiempo transcurrido desde **la separación de los grandes simios y los miembros del género *Homo***.



Árbol obtenido al analizar un fragmento del ADN del gen de la beta-globina en distintas especies de primates. Nótese que la inclusión del chimpancé enano (bonobo) no altera la relación filogenética del género *Pan* con *Homo*.

Finalmente, y como muestra la siguiente figura, el análisis específico del **porcentaje de secuencias nucleotídicas divergentes en el ADN** de chimpancé, gorila, orangután y humano (Hominidae) confirma los resultados obtenidos al incluir a los miembros del nivel taxonómico superior (Hominoidea), tanto con caracteres morfológicos como moleculares.



El chimpancé y los humanos comparten el 98.8% de su ADN. Si bien los chimpancés no difieren de los gorilas, estos difieren más de los humanos, mientras que los orangutanes representan el género más divergente respecto de chimpancé, gorila y humano.

22 Historia evolutiva de la familia Hominidae

La historia de la familia Hominidae es, en términos geológicos, extremadamente reciente. Mientras los primeros seres vivos datan de hace unos 3.800 millones de años, el registro fósil de los ancestros más cercanos al género *Homo* no supera los 5 millones de años, y la datación de *Homo sapiens* no alcanza los 200.000 años. Desde el hallazgo en 1868 del hombre de Cro-Magnon, (*H. sapiens*) y en 1890 de *Pithecantropus erectus* (hoy designado como *Homo erectus*), este breve instante geológico ha sido objeto de intensas investigaciones basadas en el descubrimiento de restos óseos en yacimientos de África y Eurasia.

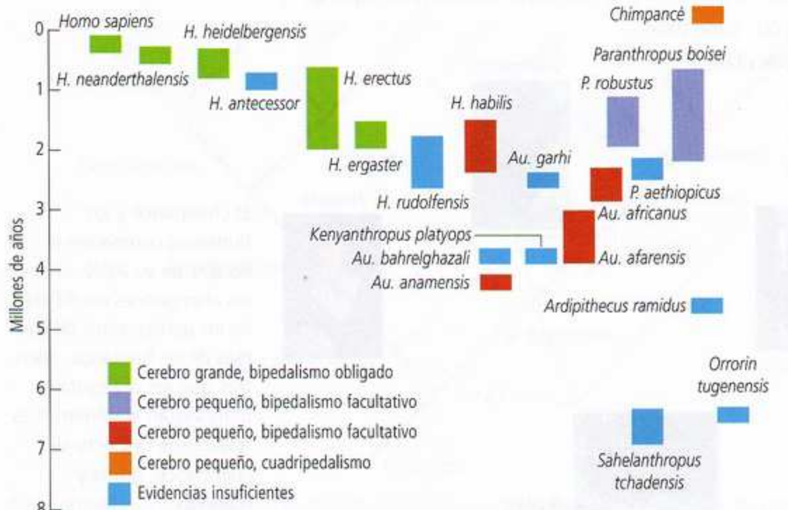
De acuerdo con estos hallazgos, las **principales modificaciones anatómicas ocurridas en la evolución de Hominidae** son:

1. el paso de un estado cuadrúpedo a la estación bípeda;
2. el aumento en el tamaño corporal y craneano;
3. La disminución en el tamaño de los dientes.

La inspección de estos datos sugiere que un problema relevante en la reconstrucción de filogenias es el **carácter incompleto de la evidencia obtenida del registro fósil**. El 40% de las unidades taxonómicas mostradas en la siguiente figura no entrega la información suficiente para concluir de manera cierta el modo de caminar y/o la capacidad craneana. Por ejemplo, de *Sahelanthropus tchadensis*, descubierto en 2001 en África central, se cuenta con un cráneo casi completo, estimándose su capacidad encefálica en 320–380 cc. Sin embargo, no hay registro de huesos propios de la anatomía postcraneana. Más aún, la posición occipital extrema del foramen magno y la arcada dentaria cuadrangular, similar a la observada en chimpancé sugieren que este primate era un cuadrúpedo cuya anatomía general, y no sólo craneana, es mucho más parecida a la del chimpancé que a la de los australopitecinos.

Primeros tipos de cambio en los homínidos en relación a la cronología del registro fósil. (Capacidad craneana y tipo de locomoción)

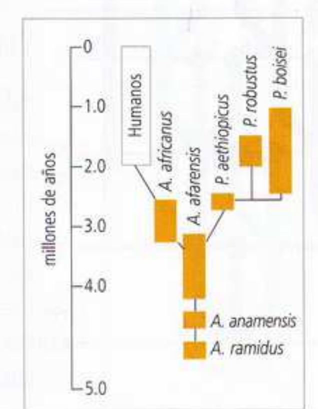
Adaptado de: www.talkorigins.org



El carácter incompleto del registro fósil tiene importantes consecuencias. En primer lugar, **las relaciones de ancestralidad son hipótesis que no siempre pueden ser validadas**, ya que para lograrlo se requiere de un gran número de evidencias. Cuando las evidencias son insuficientes muchas partes de la filogenia pierden continuidad entre un nodo y otro. En segundo lugar, la escasa representación en términos poblacionales de las distintas especies descritas en el registro fósil puede llevar a los investigadores a **confundir la variación natural dentro de poblaciones de la misma especie** (dimorfismo sexual, edad, polimorfismo genético) con diferencias entre especies. Por ejemplo, *H. rudolfensis* corresponde al cráneo de un individuo descubierto en el mismo sitio arqueológico (Koobi Fora, Kenia), con la misma datación cronológica (1.9 millones de años) y de una gran semejanza morfológica con cráneos de *H. habilis*. Una sospecha similar respecto de su estatus de especie ha levantado la descripción en 2004 de *H. floresiensis*, de sólo 18.000 años de antigüedad. Según algunos autores, se trataría de *H. sapiens* enanos.

No obstante los problemas que plantea la reconstrucción de la historia evolutiva de los homínidos, en la actualidad hay consenso respecto de algunos **hitos centrales** de este proceso:

1. *Australopithecus afarensis* (3.8 millones de años) es el **primer homínido que logró caminar en posición erguida**. La forma de su pelvis, semejante a la de los miembros del género *Homo*, y el hallazgo de huellas propias de un bípedo, de cerca de 3.6 millones de años, así lo confirman.
2. *H. sapiens* y *H. neanderthalensis* son especies distintas, y poseen la **mayor capacidad encefálica** entre los representantes de Hominidae,
3. Los australopitecinos más antiguos (*A. anamensis* y *A. afarensis*) tienen como ancestro a *Ardipithecus ramidus* y constituyen el nodo del que se separan las dos grandes ramas de Hominidae: la que contiene al género *Homo*, y la que conduce a las formas australopitecinas más robustas representadas en el género *Paranthropus* (*P. aethiopicus, P. robustus* y *P. boisei*).




Chimpancé.


Australopithecus afarensis.


Australopithecus africanus.


Humano.

Comparación de la estructura de la pelvis entre chimpancé, *A. afarensis*, *A. africanus* y *H. sapiens*.

* en el caso de *H. ergaster*, algunos investigadores plantean que se trata de la variante africana de *H. erectus* asiático.

En relación a la **evolución de los homínidos**, el registro fósil recoge la secuencia que se resume en la tabla. Se muestran los fósiles de *Homo* que cuentan con un buen número de representantes por especie. Otras especies fósiles de *Homo*, no mostradas en la tabla, son *H. georgicus* (1.8 millones de años, excavado en Georgia, Asia central, 600-680 cm^3 volumen craneano, representaría el "eslabón" entre *H. ergaster* y *H.erectus*), y *H. antecessor* (0.8 millones de años, el homínido más antiguo descrito hasta ahora para Europa, excavado en el sitio arqueológico de Atapuerca, España. Tendría como ancestro a *H. georgicus* y habría dado origen a *H. neanderthalensis*).

Especies fósiles representativas de Hominidae

Especie	Datación (millones de años)	Volumen craneal (cm^3)	Distribución geográfica
Australopithecus afarensis	3.9 – 3.0	375 – 550	África
A. africanus	2.8 – 2.4	420 – 500	África
Homo habilis	2.5 – 1.5	600	África
H. ergaster *	1.9 – 1.3	700 – 850	África
H. erectus	1.2 – 0.4	399 – 1.100	África, Eurasia
H. heidelbergensis	0.6 – 0.2	1.100 – 1.400	África, Eurasia
H. neanderthalensis	0.3 – 0.03	1.200 – 1.700	Europa, Medio Oriente
H. sapiens	0.2 – Presente	1.350 – 1.400	Mundial

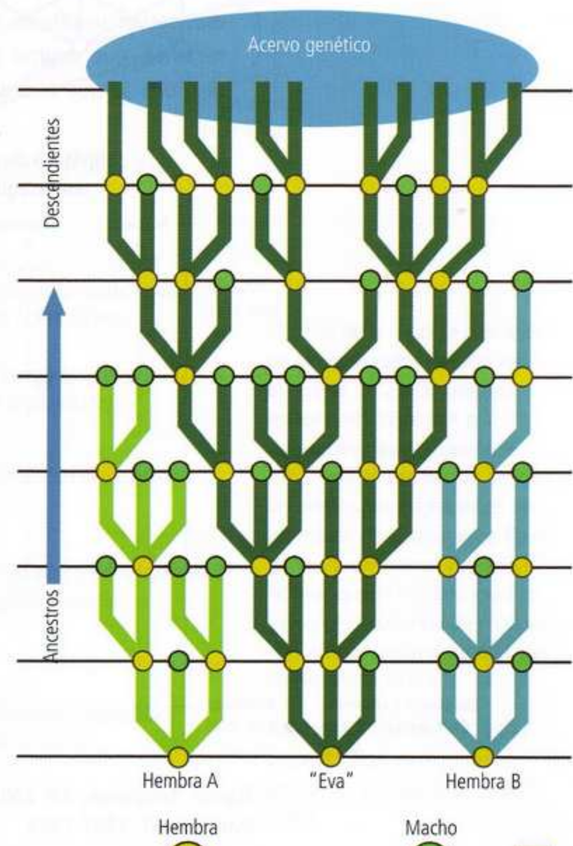
Origen de las poblaciones actuales de *Homo sapiens*

El uso de secuencias de ADN mitocondrial (ADNmt) indica que nuestro **ancestro en común más reciente por línea materna** (mtMRCA), vivió en África hace unos 160.000 años ("Eva" negra). Los antecedentes que avalan el uso del ADNmt son el carácter no recombinante de esta molécula, su patrón de transmisión por vía materna y su alto grado de polimorfismo genético. Como lo muestra la figura, **los humanos actuales hemos heredado copias de ADNmt a partir de un origen único**. Dado que la tasa de mutaciones en el ADN es constante (según la hipótesis del "reloj molecular"), se espera que, a mayor variación genética, mayor será el tiempo transcurrido desde el evento de transmisión original. Los resultados obtenidos de las investigaciones con uso de ADNmt muestran que las poblaciones con mayor variación genética se ubican en África, mientras que las poblaciones de los demás continentes divergen de estas poblaciones a una **distancia genética que es proporcional a la distancia geográfica que las separa**.

El carácter patrilineal de la transmisión del cromosoma Y ha permitido establecer, a partir de los mismos supuestos utilizados en el caso del ADNmt, que nuestro **ancestro en común más reciente por línea paterna** (Y-MRCA) también vivió en Africa, pero hace unos 60.000 años. La diferencia entre esta datación y la del mtMRCA se debería a la asimetría en la conducta de apareamiento de nuestros "abuelos" (algunos padres no dejan descendientes mientras que otros los tienen con muchas mujeres, de modo que la probabilidad de dejar descendientes varía menos para una mujer que para un hombre). En las condiciones de alta restricción al crecimiento poblacional que vivieron nuestros ancestros en el África del Paleolítico, las líneas paternas originales se perdieron, quedando representadas sólo aquellas que superaron el "cuello de botella" poblacional ocurrido aproximadamente hace 70.000–60.000 años atrás.

¿Cuál es el origen de las poblaciones actuales de *H. sapiens*? Esta pregunta es un ejemplo de que en ciencia, el desarrollo de nuevas herramientas metodológicas es una condición necesaria, aunque no suficiente, para el avance en el conocimiento. Se requiere, además, la contrastación de hipótesis que propongan causas alternativas para explicar el problema de interés. Además, las hipótesis deben contar con antecedentes sólidos y un marco teórico consistente.

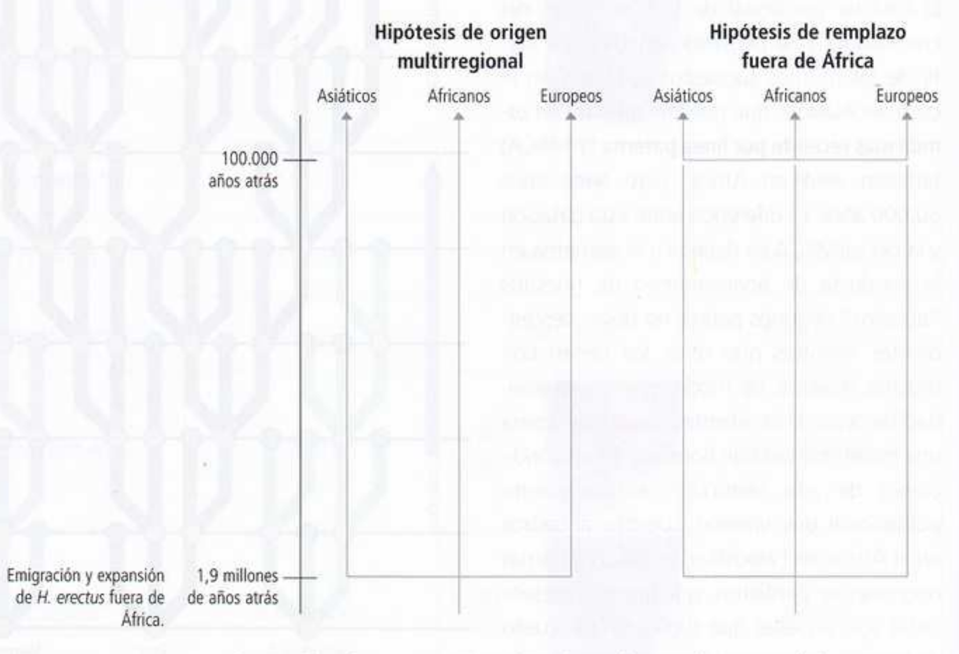
Huella de ADNmt



Respecto de las causas de la diversidad fenotípica de las poblaciones actuales de nuestra especie, se han propuesto las siguientes hipótesis:

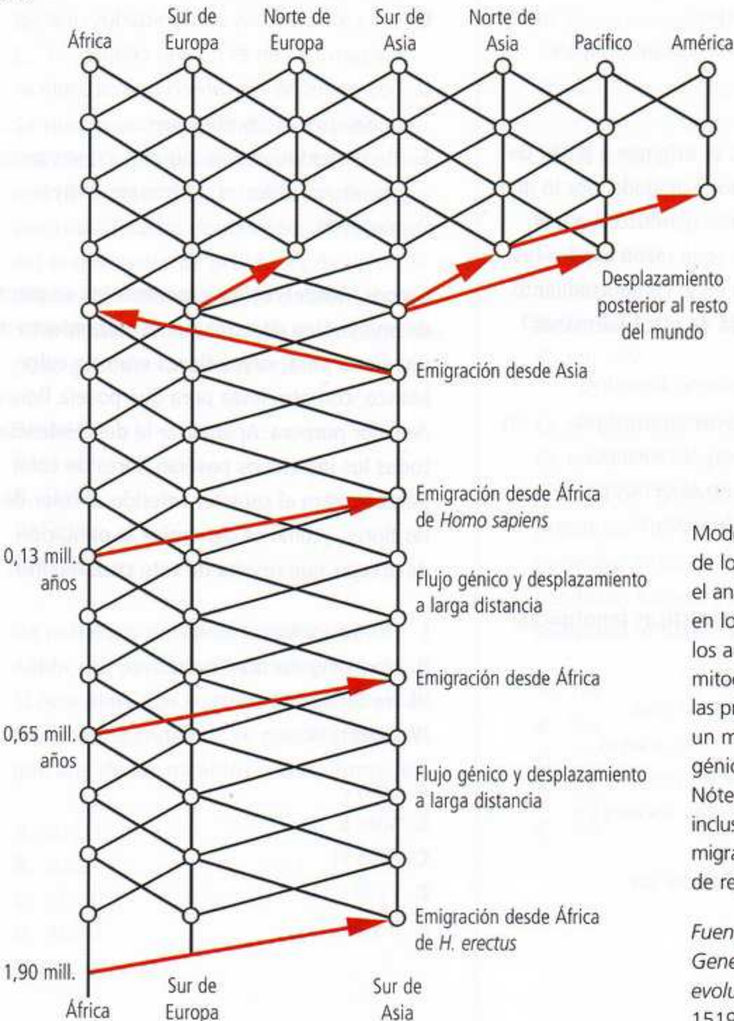
- **Hipótesis de remplazo fuera de África**. Afirma que al migrar a Europa y Asia, *H. sapiens* reemplazó por completo a *H. erectus* y a *H. neanderthalensis* sin que hubiese continuidad genética entre ellos. Como resultado, la diversidad regional observada en la actualidad se debería a variaciones polimórficas ocurridas a partir de una única población fundadora de *H. sapiens*.

- **Hipótesis de origen multirregional**. Sostiene que las poblaciones de *H. erectus* residentes en Europa y Asia desde hace unos 2 millones de años tuvieron continuidad a nivel regional mediante el intercambio génico con las poblaciones de *H. sapiens* arcaicas que comenzaron a llegar desde África hace unos 100.000 años. Una predicción de esta hipótesis es que los grupos caracterizados en la literatura tradicional como "razas" negroides, caucasoides, mongoloides y amerindias serían resultado de una diferenciación geográfica y genética reciente, que ocurrió durante los últimos 200.000–100.000 años, después de que *H. sapiens* migrara desde África.



Fuente: Templeton, AR, 2007. *Genetics and recent human evolution.* Evolution 61: 1507-1519.

Recientemente, se han puesto en duda los supuestos de ambas hipótesis, debido a que se basan en datos obtenidos de unos pocos genes, insuficientes para dar cuenta de la variación e intercambio génico existente, antes, durante y luego de ocurrido los eventos migratorios de *H. erectus* y *H. sapiens*. Como resultado de esta crítica, se han propuesto modelos que incorporan un amplio espectro de marcadores genéticos nucleares, mitocondriales y del cromosoma Y, y que consideran de manera más realista las direcciones y períodos de duración de los procesos migratorios y de flujo génico ocurridos durante los últimos 2 millones de años de la historia evolutiva de los homínidos, tal como se aprecia en la figura.



Modelo de la reciente evolución de los homínidos basado en el análisis de 25 loci ubicados en los cromosomas X e Y, los autosomas y el genoma mitocondrial. Las flechas indican las principales migraciones en un marco de permanente flujo génico a nivel local y regional. Nótese que el modelo predice, incluso, la ocurrencia de procesos migratorios desde Asia que van de regreso a África.

Fuente: Templeton, AR, 2007. *Genetics and recent human evolution.* Evolution 61: 1507-1519.

Ejercicios

1. **¿Cuál de las siguientes situaciones corresponde a un ejemplo de variación intraespecie?**

   A. Las diferencias de color entre flores de plantas de naranjo y limón.
   B. El tamaño de las patas de vacas lecheras y vacas productoras de carne.
   C. Los genes reproductivos de caballos y burros.
   D. La capacidad de hacer fotosíntesis que tienen algas y helechos.
   E. La forma de alimentación en animales herbívoros.

2. **Dos hermanos gemelos se originan a partir de la división de un ovocito fecundado, por lo que poseen el mismo material genético. A partir de estos antecedentes: ¿qué razón explica las diferencias que existen en el comportamiento, crecimiento y apariencia de estos hermanos?**

   A. Ambos poseen el mismo fenotipo.
   B. Ambos poseen el mismo genotipo.
   C. Existen diferencias en el fenotipo.
   D. El fenotipo influye en el genotipo.
   E. El genotipo interactúa con el ambiente.

3. **De las siguientes características fenotípicas, ¿cuál no es heredable?**

   A. Altura de una planta de rosa.
   B. Color de las flores de las arvejas.
   C. Forma del pelaje de un perro.
   D. Irritación de las cuerdas vocales en humanos.
   E. Tamaño de los huevos de los avestruces.

4. **Según la teoría cromosómica de la herencia, la información genética se encuentra en unidades llamadas genes que están en los cromosomas. A partir de ello, ¿cuál de las siguientes afirmaciones forma parte de esta teoría?**

   A. Muchos genes poseen alelos dominantes y recesivos.
   B. Los genes son estructuras equivalentes a los cromosomas.
   C. Los cromosomas son unidades que se encuentran en el núcleo celular.
   D. Los genes se ubican en una secuencia lineal en los cromosomas.
   E. Un individuo recibe algunos cromosomas de origen paterno y otros de origen materno.

5. **Gregor Mendel realizó experimentos en plantas de arveja. Uno de estos fue el cruzamiento de una línea pura, cuyas flores eran de color blanco, con otra línea pura que poseía flores de color púrpura. Al analizar la descendencia, todos los individuos poseían flores de color púrpura. Para el carácter referido al color de las flores, ¿cómo se denomina la población de arvejas que resulta de este cruzamiento?**

   I. Homocigoto recesivo.
   II. Homocigoto dominante.
   III. Heterocigoto.
   IV. Dihíbrido.

   A. Solo I
   B. Solo II
   C. Solo III
   D. I y III
   E. II y IV

6. **Una mujer es heterocigota para una característica ligada al cromosoma X. En este caso, el alelo recesivo se asocia con la enfermedad del daltonismo y el alelo dominante con una visión normal. ¿Cuál es la probabilidad de que sus hijos varones desarrollen esta enfermedad?**

   A. 0
   B. ¼
   C. ½
   D. ¾
   E. 1

7. **Se realiza un cruzamiento de prueba para una mosca que posee alas de tamaño normal (G) y color gris (E), características que son consideradas dominantes. El resultado del cruzamiento de prueba es de un 50 % de moscas con alas normales y color gris; y un 50% de alas reducidas (g) y color negro (e). ¿Qué genotipo posee la mosca?**

   A. GgEE
   B. GGEe
   C. GgEe
   D. Ggee
   E. GGEE

8. **Un individuo posee un genotipo de AabbCcdd para cuatro características. Si este individuo segrega sus alelos en forma independiente, se puede afirmar que uno de los gametos que no forma es:**

   A. abCD
   B. abcd
   C. Abcd
   D. AbCd
   E. abCd

9. **En un experimento realizado en una especie vegetal, se generan 1.500 descendientes a partir de la autopolinización de un dihíbrido; de ellos, 847 individuos poseen el mismo fenotipo que la planta progenitora. ¿Qué genotipo(s) posee(n) los individuos de este grupo?**

   I. Homocigoto dominante para ambas características.
   II. Heterocigoto para ambas características.
   III. Homocigoto recesivo para ambas características
   IV. Heterocigoto para una característica y homocigoto recesivo para la otra característica.

   A. Solo I
   B. Solo III
   C. Solo IV
   D. I y II
   E. I, II y IV

10. **En un grupo de zorros, se realiza el cruce de un macho de genotipo AaBb con una hembra de genotipo AABb. ¿Cuál sería la proporción de zorros de la descendencia con genotipo AABb, si sabemos que el alelo b en condición homocigota implica la muerte del individuo en su gestación?**

    A. 1:4
    B. 2:4
    C. 1:7
    D. 1:3
    E. 3:8

11. En una zona geológica de rocas sedimentarias se encuentran restos fósiles ubicados a diferentes niveles de profundidad. A partir de este hecho, se puede señalar correctamente que los fósiles:

A. ubicados en las capas más profundas poseen un origen más antiguo.
B. corresponden a restos mineralizados de organismos que vivieron en el pasado.
C. evidencian la evolución.
D. poseen miles a millones de años de antigüedad.
E. Todas las anteriores.

12. Thomas Robert Malthus era un economista británico, cuyos escritos dieron luces para lo que posteriormente plantearon Darwin y Wallace en sus teorías evolutivas. Al respecto, ¿cuáles de las siguientes premisas corresponden a lo planteado por Malthus?

I. Hay una disponibilidad limitada de los recursos alimenticios.
II. Se selecciona la descendencia más capacitada para sobrevivir y reproducirse.
III. La especie humana tiene un ritmo geométrico de crecimiento de la población.

A. Solo I
B. Solo II
C. Solo III
D. I y III
E. Todas son correctas.

13. ¿Cuál de las siguientes características, referidas al mecanismo de selección natural, es incorrecta?

A. Está asociada a herencia de adaptaciones adquiridas en una generación de individuos.
B. Requiere variabilidad entre los individuos de una especie.
C. El ambiente va seleccionando a los individuos con variaciones ventajosas.
D. Las variaciones entre los individuos deben tener carácter heredable.
E. Todas son correctas.

14. ¿En cuál de las siguientes situaciones se ejemplifica el principio de "lucha por la sobrevivencia", de la teoría de selección natural?

A. El desarrollo de nuevas adaptaciones en organismos sobrevivientes.
B. La variabilidad de colores en un grupo de flores que se autopolinizan.
C. El camuflaje de un grupo de insectos para ocultarse de sus depredadores.
D. La búsqueda de alimento de un grupo de jabalíes, luego de un incendio forestal.
E. Una población de bacterias muta y se hace resistente a los antibióticos.

15. La teoría sintética de la evolución, o neodarwinismo, explica que la variabilidad que existe entre los individuos es causada por:

A. la presión del ambiente.
B. la reproducción sexual.
C. aparición de nuevos órganos en respuesta a una necesidad.
D. la "lucha por la sobrevivencia".
E. cambios en el material genético de la especie (mutaciones).

16. El dimorfismo sexual se relaciona con las variaciones fenotípicas entre machos y hembras de la misma especie. Al respecto ¿cuál de las siguientes hipótesis que explican el dimorfismo sexual es la más aceptada?

A. El dimorfismo sexual permite que los machos escojan a su pareja reproductiva.
B. Ciertos rasgos llamativos incrementan el éxito reproductivo, aunque implique un costo de sobrevivencia.
C. Es ampliamente difundida en especies en que machos y hembras comparten la crianza.
D. Permite diferenciar las características de los distintos machos.
E. Se produce para aumentar el número de descendientes.

17. La competencia entre los individuos de un sexo, generalmente machos, por acceder a individuos del sexo opuesto, corresponde a una forma de selección.

A. artificial.
B. natural.
C. intrasexual.
D. intersexual.
E. genética.

18. ¿Cuál de las siguientes condiciones se considera fundamental para que se origine una nueva especie?

A. Variabilidad entre los descendientes.
B. Aislamiento reproductivo.
C. Presión del ambiente.
D. Competencia por los recursos.
E. Lucha por la sobrevivencia.

19. ¿En qué caso(s) se considera que se ha formado una nueva especie?

A. Cuando dos grupos de la misma especie se aislan geográficamente.
B. Cuando dos poblaciones son incapaces de reproducirse entre sí.
C. Al desarrollar nuevas adaptaciones frente a determinado ambiente.
D. Al cambiar caracteres de su fenotipo, aunque son capaces de procrear entre sí.
E. Todas son correctas.

20. Entre las hipótesis que explican el origen de la vida en la Tierra, ¿cuál(es) de las siguientes afirmaciones es(son) la(s) más aceptada(s)?

I. la vida se originó a partir de moléculas inorgánicas.
II. las primeras formas de vida se originaron espontáneamente.
III. la vida se originó en condiciones ambientales similares a las actuales.

A. Solo I
B. Solo II
C. Solo III
D. I y II
E. I y III

21. ¿Por qué razón la respiración aeróbica se considera una innovación biológica?

A. Por utilizar el oxígeno, que es una molécula peligrosa para las membranas celulares.
B. Por utilizar la glucosa como molécula altamente energética.
C. Por realizarse en gran parte de los seres vivos.
D. Por ser un proceso de alto valor energético.
E. Por su aparición en la era Paleozoica.

22. En relación a los eventos evolutivos, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?

A. Los mamíferos dominaron la Tierra en el período Triásico.
B. En la era Cenozoica aparecieron las primeras bacterias y cianobacterias.
C. Los primeros organismos fotosintéticos aparecieron en la era Paleozoica.
D. El apogeo de los dinosaurios ocurrió en el período Neógeno.
E. Las plantas con flores aparecieron antes que los helechos y musgos.

23. Ordena los siguientes grupos de animales de acuerdo a su momento de aparición (desde los más antiguos a los más recientes).

I. Dinosaurios.
II. Anfibios.
III. Mamíferos primates.
IV. Peces sin mandíbulas.
V. Cetáceos.

A. I, II, IV, III, V
B. III, I, V, IV, II
C. IV, II, I, V, III
D. II, IV, V, I, III
E. V, IV, II, I, III

24. ¿En cuál de los siguientes ejemplos ha ocurrido una situación de convergencia evolutiva?

A. Al comparar órganos homólogos de dos especies.
B. En órganos con estructura similar, cuando las especies no están emparentadas.
C. Cuando las condiciones climáticas de dos lugares son muy diferentes.
D. Cuando dos grupos de la misma especie se ven afectados por una barrera geográfica.
E. En el momento en que los seres vivos desarrollan nuevas adaptaciones.

25. ¿Cuál de los siguientes principios utilizados para comparar el material genético de diferentes especies es correcta?

A. Especies con menos bases nitrogenadas en común, están más emparentadas.
B. Las diferencias en el material genético de las especies se relacionan con la convergencia evolutiva.
C. Especies de la misma familia taxonómica tendrán grandes diferencias en sus genes.
D. Las especies de mayor tamaño poseen más genes que las especies de menor tamaño.
E. Las especies más emparentadas se caracterizan por poseer menos diferencias en su material genético.

26. ¿Cuáles de los siguientes eventos corresponden a la evolución de los homínidos?

I. Aparece la capacidad de caminar en posición erguida.
II. Aumenta el volumen craneano en comparación con otros primates.
III. Disminuye el tamaño de los dientes.
IV. Aumenta el tamaño corporal.

A. Solo I
B. I, II y III
C. II, III y IV
D. I, II y IV
E. I, II, III, IV

27. De los siguientes especies de homínidos, ¿cuál es su orden probable de aparición?

A. *Australopithecus afarensis – Ardipithecus ramidus – Homo neanderthalensis – Homo habilis – Homo sapiens.*
B. *Ardipithecus ramidus – Australopithecus afarensis – Homo habilis – Homo neanderthalensis – Homo sapiens.*
C. *Australopithecus afarensis – Ardipithecus ramidus – Homo habilis – Homo sapiens – Homo neanderthalensis.*
D. *Homo sapiens – Homo neanderthalensis – Homo habilis – Australopitecus afarensis – Ardipithecus ramidus*
E. *Homo habilis – Ardipithecus ramidus – Australopithecus afarensis – Homo erectus – Homo sapiens.*

28. ¿Cuál de las siguientes hipótesis respecto a la diversidad fenotípica de la especie *Homo sapiens* es la más aceptada?

A. Surge a partir de la mezcla de poblaciones de homínidos de África y Asia.
B. Se origina directamente de las poblaciones de *Homo neanderthalensis*.
C. Se debe al reemplazo de *Homo erectus* por parte de poblaciones de *Homo sapiens*, en Europa y Asia.
D. Ocurre a partir de una pequeña población de *Homo erectus* que se distribuyó en los continentes.
E. Ninguna de las anteriores.

29. El ADN humano y el ADN del gorila tienen muchas regiones idénticas, esto permite inferir que:

I. poseen un gran número de genes comunes.
II. tienen un origen común.
III. tienen una filogenia muy relacionada.
IV. sus diversos estados de desarrollo son de gran semejanza.

A. I y II
B. III y IV
C. I, II y III
D. I, III y IV
E. Todas son correctas.

Solucionario

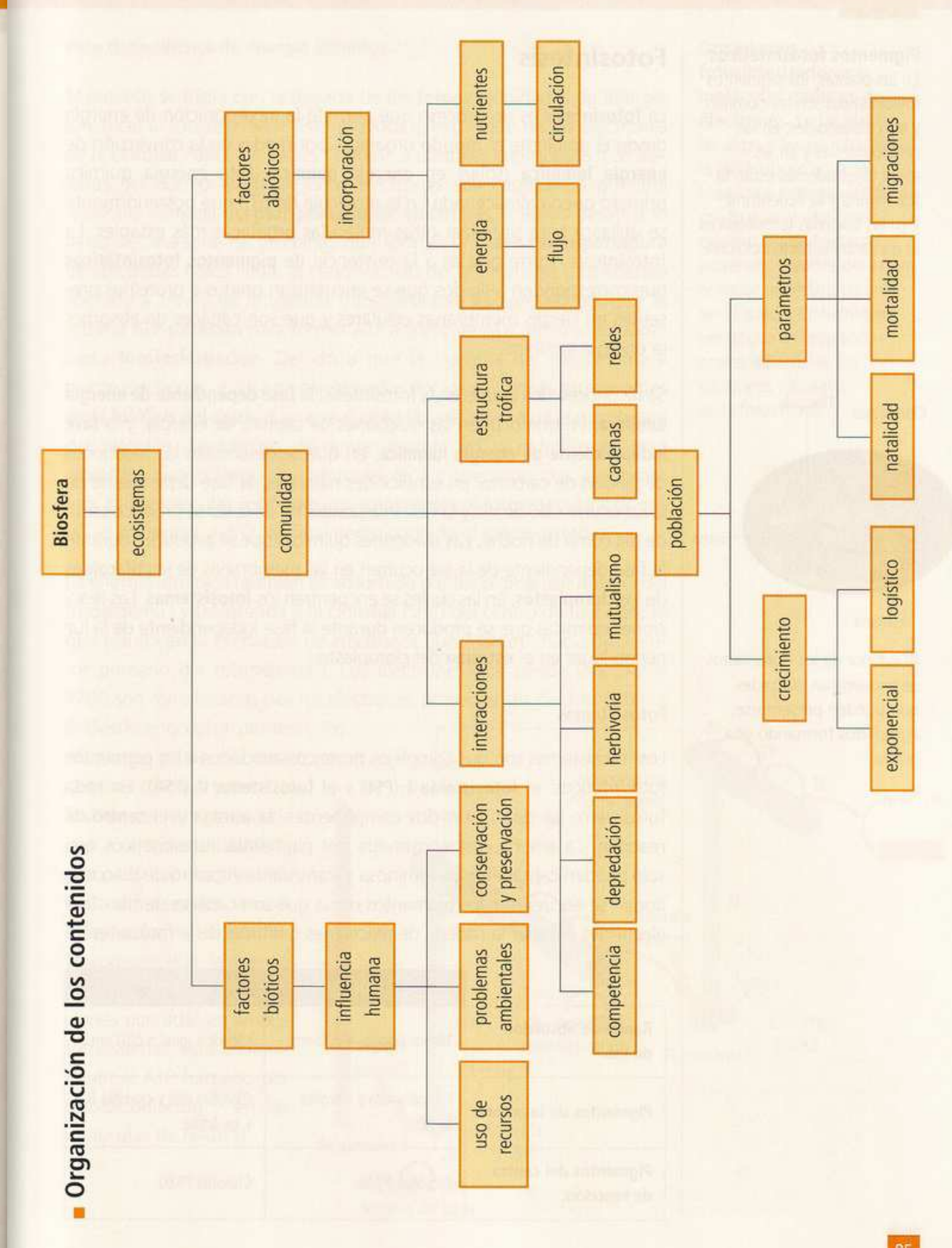
1. B	**7.** C	**13.** A	**19.** B	**25.** E
2. E	**8.** A	**14.** D	**20.** A	**26.** E
3. D	**9.** D	**15.** E	**21.** A	**27.** B
4. D	**10.** D	**16.** B	**22.** C	**28.** E
5. C	**11.** E	**17.** C	**23.** C	**29.** E
6. C	**12.** D	**18.** B	**24.** B	

Capítulo 2

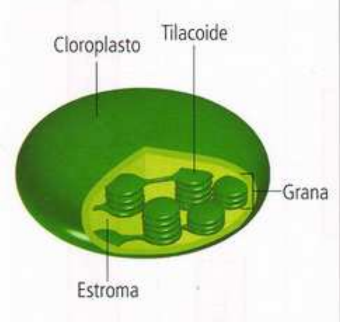
Organismo y ambiente

Los seres vivos se relacionan entre sí y con los factores abióticos del ambiente (el suelo, el agua, la temperatura, por ejemplo). Estas relaciones ocurren en un espacio y en un tiempo determinado, y son estudiadas a diferentes niveles de organización ecológica, principalmente a nivel de población, comunidad y ecosistema. En cada uno de estos niveles se reconocen características y procesos particulares, cuyo estudio permite comprender, con diferente grado de complejidad, las dinámicas e interacciones desarrolladas entre los componentes bióticos y abióticos del ambiente.

El conocimiento de dichos aspectos cobra relevancia para una adecuada utilización y conservación de los recursos naturales, en función de un desarrollo sustentable, es decir, asegurando que en el futuro no diminuya ni la cantidad ni la calidad de ellos.



Pigmentos fotosintéticos. En las plantas, los pigmentos fotosintéticos son las clorofilas y los carotenoides; en las cianobacterias y en las algas rojas además están la ficocianina y la ficoeritrina; y en las bacterias fotosintéticas se encuentra la bacterioclorofila.



Al interior de los cloroplastos se encuentran tilacoides, que pueden presentarse agrupados formando una grana.

Fotosíntesis

La **fotosíntesis** es un proceso que permite la incorporación de energía desde el ambiente al mundo orgánico, por medio de la conversión de **energía lumínica** (solar) en **energía química**. Esta energía química primero queda almacenada en la molécula de ATP que posteriormente se utilizará para sintetizar otras moléculas orgánicas más estables. La fotosíntesis ocurre gracias a la existencia de **pigmentos fotosintéticos** que corresponden a lípidos que se encuentran unidos a proteínas presentes en ciertas membranas celulares y que son capaces de absorber la energía lumínica.

Se reconocen dos etapas en la fotosíntesis: la **fase dependiente de energía lumínica**, en que ocurren las reacciones de captura de energía, y la **fase independiente de energía lumínica**, en que se desarrollan las reacciones de fijación de carbono. En condiciones naturales, la fase dependiente de la luz ocurre solo de día y la fase independiente de la luz se produce tanto de día como de noche. Las reacciones químicas que se producen durante la fase dependiente de la luz ocurren en las membranas de los **tilacoides** de los **cloroplastos**, en las cuales se encuentran los **fotosistemas**. Las reacciones químicas que se producen durante la fase independiente de la luz tienen lugar en el **estroma** del cloroplasto.

Fotosistemas

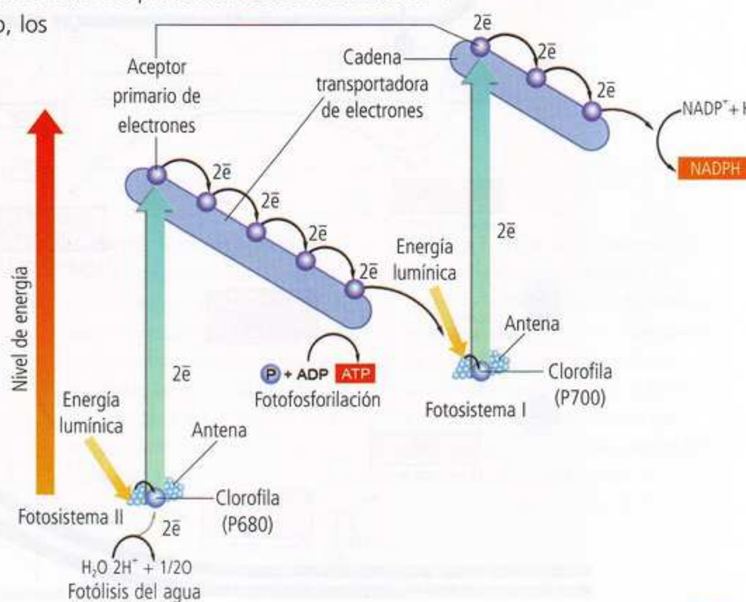
Los fotosistemas son dos complejos proteicos asociados a los pigmentos fotosintéticos: el **fotosistema I** (**PSI**) y el **fotosistema II** (**PSII**). En cada fotosistema se distinguen dos componentes: la **antena** y el **centro de reacción**. La antena está constituida por pigmentos fotosintéticos que solo pueden captar energía luminosa y transmitirla al centro de reacción, donde se encuentran los pigmentos diana que son capaces de transferir electrones e iniciar la cadena de reacciones químicas de la fotosíntesis.

	PSI	PSII
Rango de absorción de luz.	Menor o igual a 700 nm.	Menor o igual a 680 nm.
Pigmentos de la antena.	Clorofila alfa y clorofila beta.	Clorofila alfa y clorofila B y xantofila.
Pigmentos del centro de reacción.	Clorofila P700.	Clorofila P680.

Fase dependiente de energía lumínica

El proceso se inicia con la llegada de los **fotones** (unidades de energía lumínica) al fotosistema II. Esto provoca la excitación de los electrones de la clorofila P680, los cuales "saltan" a orbitales energéticos más alejados del núcleo atómico. Estos electrones son capturados por una molécula llamada **aceptor primario de electrones**, y luego pasan a lo largo de una serie de proteínas que forman la **cadena transportadora de electrones** hasta llegar al centro activo del fotosistema I. La energía liberada a través de la cadena transportadora es aprovechada por la enzima **ATP-sintetasa** para formar ATP a partir de ADP, proceso denominado **fotofosforilación**. Debido a que la clorofila del fotosistema II pierde electrones, estos son remplazados por los electrones provenientes de la **fotólisis del agua**, que se realiza en la cara interna de la membrana del tilacoide. La fotólisis del agua consiste en la hidrólisis de esta molécula, produciendo O_2, protones (H^+) y liberando dos electrones (por cada molécula), los cuales son transferidos al fotosistema II. Los dos H^+ se acumulan y el O_2 es finalmente liberado al medio externo.

La energía lumínica también es absorbida por los pigmentos antena del fotosistema I y transferida a la clorofila P700 del centro de reacción, lo que resulta en la excitación de electrones que "saltan" hacia un aceptor primario del fotosistema I. Los electrones que pierde la clorofila P700 son remplazados por los electrones provenientes del fotosistema II. Desde el aceptor primario, los electrones pasan por una cadena transportadora y finalmente son transferidos a la molécula **NADP⁺**, que junto con los protones (H^+) almacenados en el estroma, forman el **NADPH**. En consecuencia, la energía proveniente de las reacciones ocurridas en ambos fotosistemas, está contenida en el ATP formado por fotofosforilación y en las moléculas de NADPH.



Organismos fotosintetizadores y moléculas dadoras de electrones. En las plantas, las algas y las cianobacterias, la molécula de agua se hidroliza y entrega electrones, con lo que se desprende oxígeno. En las bacterias purpúreas y verdes del azufre, el dador de electrones suele ser el sulfuro de hidrógeno, por lo que se desprende azufre, además de los electrones necesarios en la fotosíntesis.

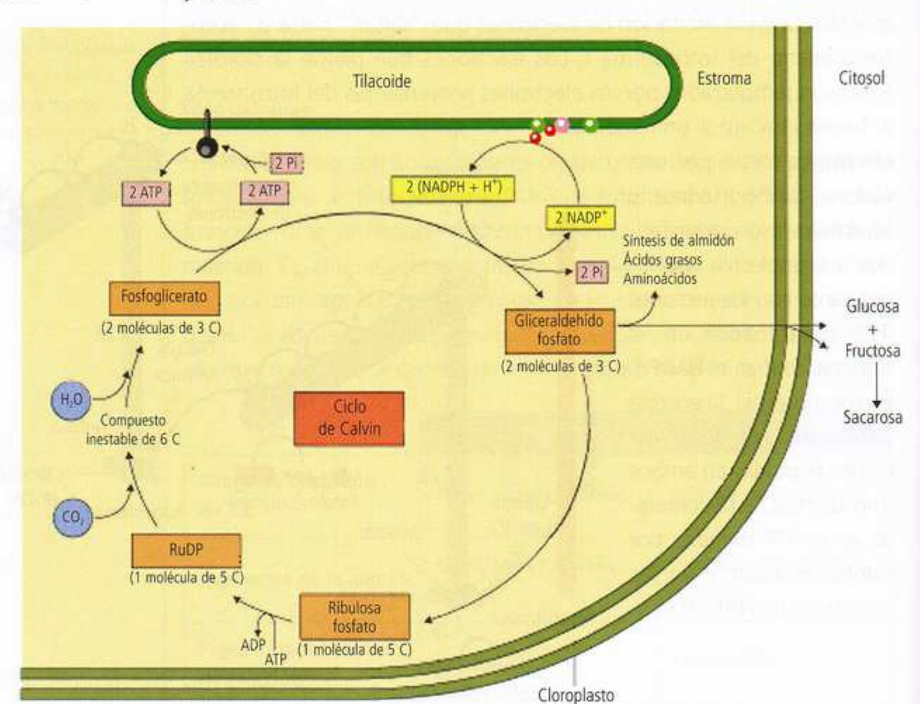
Fase independiente de la energía lumínica

El NADPH y el ATP producidos en las reacciones de la fase dependiente de luz de la fotosíntesis, se utilizan en las reacciones correspondientes a la fase independiente de la energía lumínica o **fase de fijación del carbono**. Estas reacciones ocurren en el estroma del cloroplasto y en su conjunto dan lugar al **ciclo de Calvin**, producto del cual se sintetizan moléculas orgánicas. En este ciclo se distinguen los siguientes pasos:

- **Fijación del CO_2**. El CO_2 atmosférico se une a una molécula de 5 carbonos, la ribulosa difosfato o **RuDP**, formando un compuesto inestable de 6 carbonos que luego se escinde en dos moléculas de fosfoglicerato o **PGA**. Cada PGA es una molécula de tres carbonos.
- **Reducción del CO_2 fijado**. Mediante el consumo del ATP y el NADH provenientes de la fase dependiente de luz, el fosfoglicerato es reducido a **gliceraldehído fosfato**, molécula que puede seguir dos vías, la mayor parte se utiliza para regenerar la RuDP y el resto se usa para la **biosíntesis** de **glúcidos**, **aminoácidos** y **ácidos orgánicos**.

En el ciclo de Calvin, por cada CO_2 que se incorpora se necesitan 2NADPH y 3ATP.

El ciclo de Calvin, que se lleva a cabo en el estroma del cloroplasto, requiere del ATP y del NADPH proveniente de la fase dependiente de la energía lumínica que ocurre en los tilacolides.

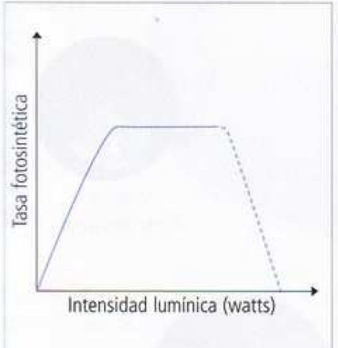


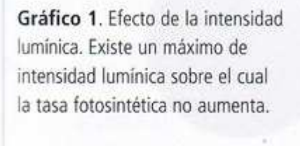
Factores que afectan la fotosíntesis

Las variables ambientales más importantes que inciden sobre la fotosíntesis son la **intensidad lumínica** y la **temperatura**.

La **tasa fotosintética aumenta a medida que se incrementa la intensidad lumínica**. Sin embargo, esto ocurre hasta cierto grado de intensidad de luz, 600 watts, valor sobre el cual la tasa fotosintética no sigue aumentando aunque se incremente la intensidad lumínica. Además, la tasa fotosintética **aumenta a medida que se incrementa la temperatura**. Sin embargo, a partir de los 30 °C, la tasa fotosintética comienza a disminuir bruscamente. Por otra parte, **la respuesta de la tasa fotosintética al aumento de la temperatura se relaciona con la intensidad lumínica**: cuando los vegetales se encuentran en un ambiente con baja intensidad lumínica, el aumento de la temperatura no produce un incremento de la tasa fotosintética. Sin embargo, cuando los vegetales se encuentran en un lugar con una alta intensidad lumínica, este aumento de la temperatura produce un gran incremento de la tasa fotosintética.

Agua y dióxido de carbono. Para que se lleve a cabo la fotosíntesis, el vegetal requiere tanto de agua como de dióxido de carbono. Por lo tanto, si un vegetal está en un medio con menos agua y/o dióxido de carbono del que necesita para satisfacer sus requerimientos nutricionales, crecerá menos que un vegetal que se encuentra en un ambiente óptimo en cuanto a estas variables, pues su tasa fotosintética será menor.




Gráfico 1. Efecto de la intensidad lumínica. Existe un máximo de intensidad lumínica sobre el cual la tasa fotosintética no aumenta.

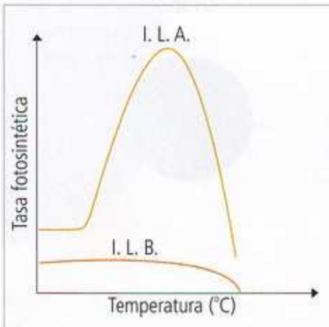


Gráfico 2. Efecto de la temperatura. Intensidad lumínica alta (I.L.A.) y baja (I.L.B.). En un ambiente con I.L.B., el aumento de la temperatura no produce un incremento de la tasa fotosintética. En cambio, en presencia de una I.L.A., el aumento de la temperatura produce un gran incremento de la tasa fotosintética.

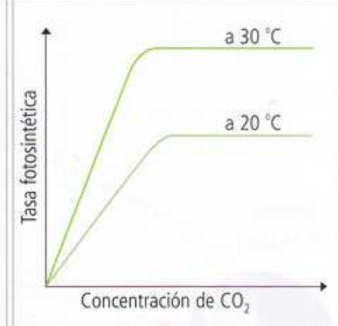
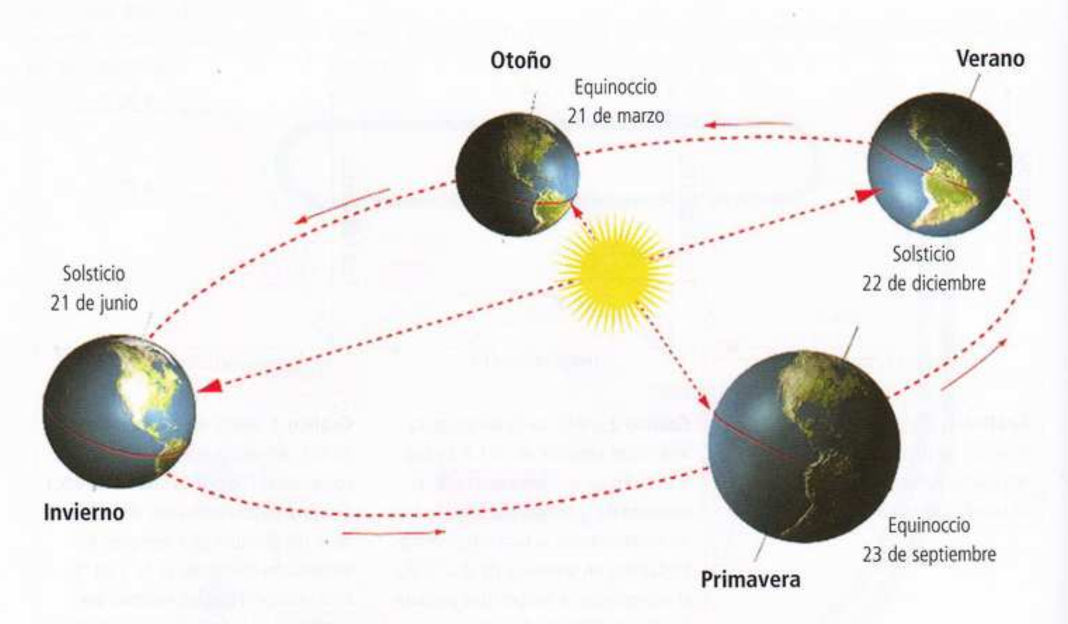


Gráfico 3. Efecto de la concentración de CO_2. A medida que aumenta la concentración de CO_2, la tasa fotosintética aumenta hasta cierto valor dependiendo de la temperatura (dos ejemplos a temperatura constante: 20 °C y 30 °C). Esto se debe a que las enzimas que participan en la fotosíntesis presentan una temperatura óptima para su actividad, alrededor de los 30 °C.

Incidencia solar sobre la Tierra y estacionalidad

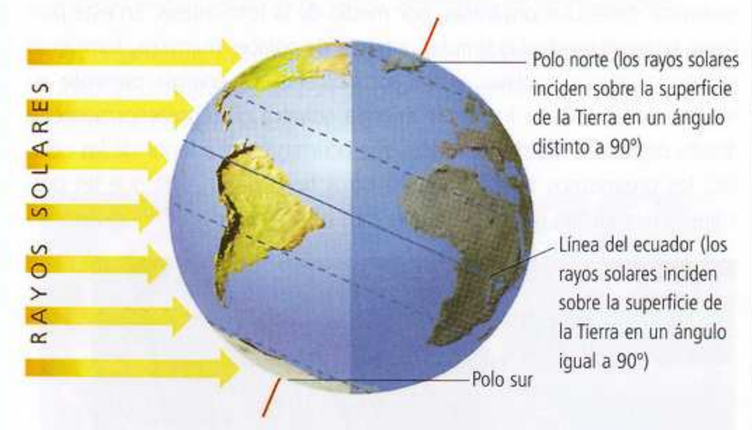
La Tierra gira alrededor del Sol en una órbita elíptica y tarda un año en completar una vuelta. El eje de rotación de la Tierra tiene una inclinación de 23° respecto de la eclíptica (plano de la órbita de la Tierra). Durante el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, el eje de rotación terrestre permanece inmóvil. Por lo tanto, el hemisferio sur se enfrenta al Sol en los meses de verano y se opone a él en los de invierno. En consecuencia, durante un mismo período del año, mientras en el hemisferio sur es verano, en el hemisferio norte es invierno. De esto último se concluye que las **diferencias estacionales** son, en gran parte, producto del **ángulo de incidencia de los haces de luz solar sobre la Tierra**. Debido a que la energía solar sustenta la inmensa mayoría de ecosistemas terrestres y acuáticos, la incidencia solar en las diferentes regiones del planeta, durante diferentes períodos, es un factor determinante para la existencia de los seres vivos que habitan dichos ecosistemas.



Representación de las estaciones en el hemisferio sur.

Incidencia de los haces de luz

La incidencia de los haces de luz sobre el plano perpendicular de la Tierra (regiones cercanas a la línea del ecuador), determina que esa zona del planeta reciba una mayor cantidad de energía por unidad de superficie, y por ende, mayor temperatura en comparación con la incidencia sobre otros planos no perpendiculares. Así, mientras que las regiones cercanas a la línea del ecuador permanecen durante el año con temperaturas constantes y muy cálidas (como, por ejemplo, en Arica), en las regiones más alejadas las estaciones del año son marcadas (como en Santiago). Hacia los polos, el grado de incidencia de los rayos solares es oblicuo, por lo que la cantidad de energía que reciben por unidad de superficie es mínimo. Por tal razón, en las regiones polares las temperaturas son constantes pero frías durante todo el año (como, por ejemplo, en Punta Arenas).

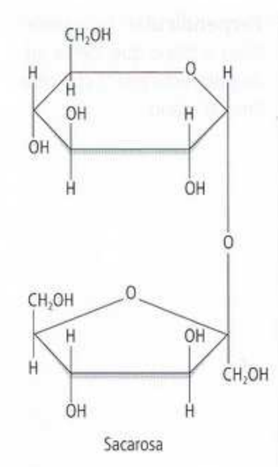


Los haces de luz impactan sobre la Tierra en diferentes planos, uno de ellos corresponde al plano perpendicular que corresponde a toda la región a lo largo de la línea del ecuador.

Distribución de los ecosistemas en el planeta

La distribución de la variedad de ecosistemas existentes está determinada por cinturones de corrientes de aire que circulan alrededor del planeta y que provocan los patrones de **vientos** y **precipitaciones** característicos de las distintas regiones. Es así como, por ejemplo, la presencia de desiertos que se ubican a 30° de latitud norte y sur, se debe a masas de aire seco que descienden en esta zona procedentes del ecuador. Por otro lado, las regiones con altas precipitaciones se deben a masas de aire que ascienden y liberan el agua que contienen.

Perpendicular. Es aquella línea o plano que forma un ángulo recto (90 °) con otra línea o plano.



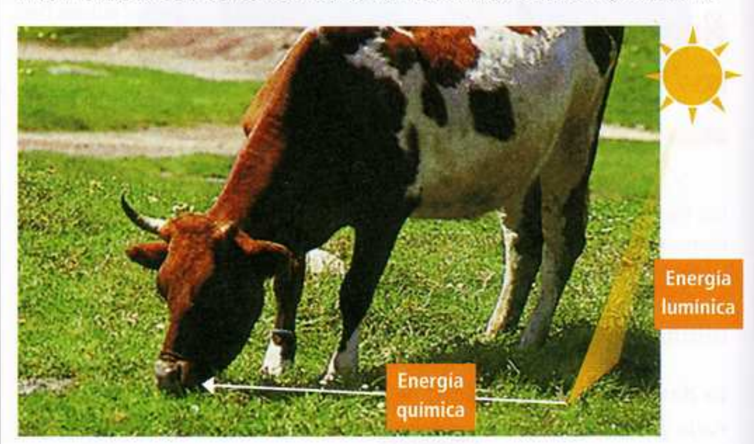


La energía química es aquella que se encuentra almacenada en las partículas. Por ejemplo, la energía contenida en los enlaces de moléculas –como la glucosa o la sacarosa– es un tipo de energía química. Esta energía es utilizada por los seres vivos para impulsar todas las reacciones químicas que les permiten vivir y realizar sus actividades cotidianas.

Seres vivos como sistemas abiertos

Todos los sistemas vivos operan y evolucionan dentro de los límites de las leyes básicas de la física y de la química. Así, las **leyes de la termodinámica** que establecen las relaciones que se producen entre las distintas formas de energía y sus transformaciones, son particularmente importantes para comprender la vida.

Desde el punto de vista de la termodinámica, los seres vivos son **sistemas abiertos**, es decir, intercambian materia y energía con el medio. De acuerdo con la **primera ley de la termodinámica** o **ley de la conservación de la energía**, la energía puede transformarse de una forma en otra y se mantiene constante en el universo. En este sentido, la energía proveniente del Sol llega a la Tierra en forma de luz y calor. En las plantas y en las bacterias fotosintéticas, la **energía lumínica** es utilizada para sintetizar moléculas orgánicas, por medio de la fotosíntesis. En este proceso, se unen moléculas simples, a través de enlaces químicos, formando moléculas más complejas, como los azúcares. La energía presente en estos enlaces, es una forma de **energía química** que, posteriormente, a través de reacciones de oxidación que ocurren en el interior de las células, los organismos transforman en otros tipos de energía que les permiten efectuar sus funciones vitales (nutrición, reproducción y relación).



Todos los procesos de la vida requieren energía. Las plantas transforman la energía lumínica del Sol, en energía química, que se almacena en los enlaces de las moléculas sintetizadas durante la fotosíntesis. Cuando estos enlaces se rompen, liberan energía, la que es utilizada para llevar a cabo los procesos metabólicos del vegetal. Luego, un animal al alimentarse del pasto, utiliza la energía que las plantas transformaron y almacenaron, para realizar sus propias reacciones químicas.

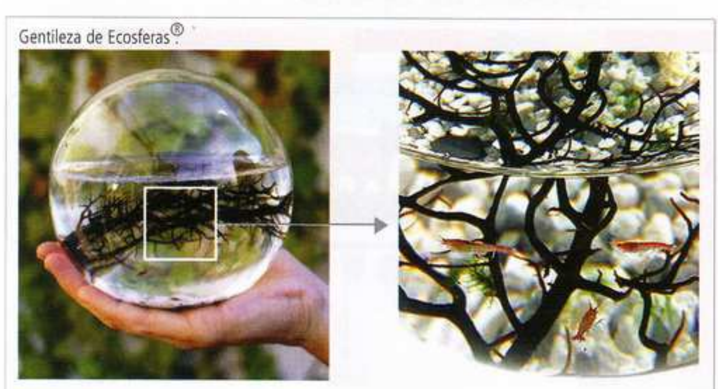
La entropía

La **segunda ley de la termodinámica** establece que los sistemas tienden a un estado de desorden o **entropía**. Según esta ley, todos los procesos naturales ocurren en la dirección de aumentar el grado de desorden del Universo.

Los seres vivos a medida que van creciendo y desarrollándose aprovechan el flujo constante de energía que reciben desde el medio para aumentar su orden interno (disminuyen su entropía), manteniendo un alto grado de organización mientras dure su ciclo vital. Cada vez que un organismo utiliza energía para efectuar las reacciones químicas que lo mantienen con vida, transforma una parte de esa energía en calor, el cual se disipa al ambiente aumentando la entropía del medio. De esta forma, el aumento del orden que se produce en un sistema biológico se compensa con la liberación al medio de energía en forma de calor.

En los organismos vivos, el estado de orden creciente que implica su desarrollo es sustentado por el aporte constante de energía que se obtiene mediante la fotosíntesis.

Gentileza de Ecosferas®



Un ejemplo de sistema que intercambia energía con el medio son las **ecosferas**: pequeñas cápsulas herméticas fabricadas de cristal que contienen agua, algas, camarones y bacterias. Estos seres vivos, más el agua y la luz solar que utlizan como fuente de energía, forman un pequeño ecosistema que tiene un tiempo promedio de vida de unos pocos años. En las ecosferas, la energía luminosa del Sol y el CO_2, le permiten a las algas realizar fotosíntesis, los camarones se alimentan de las bacterias y las algas, y, además, respiran el oxígeno que estas últimas liberan. Finalmente, las bacterias comen los desechos de los camarones y le entregan otros nutrientes a las algas. Tanto camarones como bacterias aportan CO_2 al ambiente. Así se completa un ciclo vital totalmente cerrado y autosuficiente.

Niveles de organización de los seres vivos que estudia la ecología.

Población: individuos de la misma especie que viven en una misma área y en un tiempo determinado.

Comunidad: poblaciones de diferentes especies que viven e interactúan en un tiempo y espacio determinado.

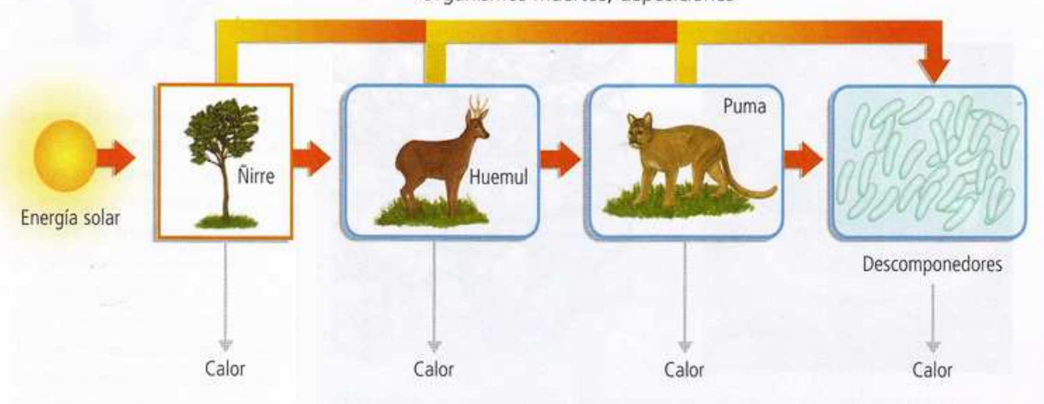
Ecosistema: interacción entre la comunidad y las condiciones fisicoquímicas del lugar que habita (factores abióticos).

Biosfera: conjunto de ecosistemas de toda la Tierra. Corresponde al nivel más complejo de organización de los seres vivos.

Flujo energético en el ecosistema

Los **flujos de energía** y los **ciclos de nutrientes** se encuentran íntimamente relacionados, ambos influyen en la diversidad de formas de vida que se encuentran dentro de un ecosistema. Los flujos de energía en la naturaleza **no son cíclicos**, van en una sola dirección, aprovechando la constante energía que entrega el Sol, la cual permite una generación continua de nutrientes y la subsistencia del ecosistema.

La energía fluye o se transfiere entre los seres vivos de un ecosistema: va pasando desde los vegetales a los animales y después a los organismos descomponedores. Gran parte de esta energía es aprovechada por los organismos de cada eslabón, para realizar sus funciones vitales, y **transformada en calor**. Así, solo una pequeña fracción de la energía que recibe un ser vivo se transfiere al siguiente eslabón (alrededor de un 10-20%).



Ejemplo de flujo energético en una comunidad. El ñirre aprovecha la energía solar transformándola en energía química. Una parte de esta energía química es utilizada en las reacciones químicas (respiración) que le permiten llevar a cabo todas sus funciones vitales y se disipa al ambiente en forma de calor. Los huemules se alimentan del ñirre y son depredados por el puma. Todos los seres vivos mueren y generan deposiciones que son degradadas por los descomponedores. Tanto el puma, el huemul y los descomponedores, disipan calor al ambiente al realizar sus funciones vitales. De esta forma, la cantidad de energía útil que fluye desde unos seres vivos a otros va descendiendo desde los productores a los herbívoros y carnívoros.

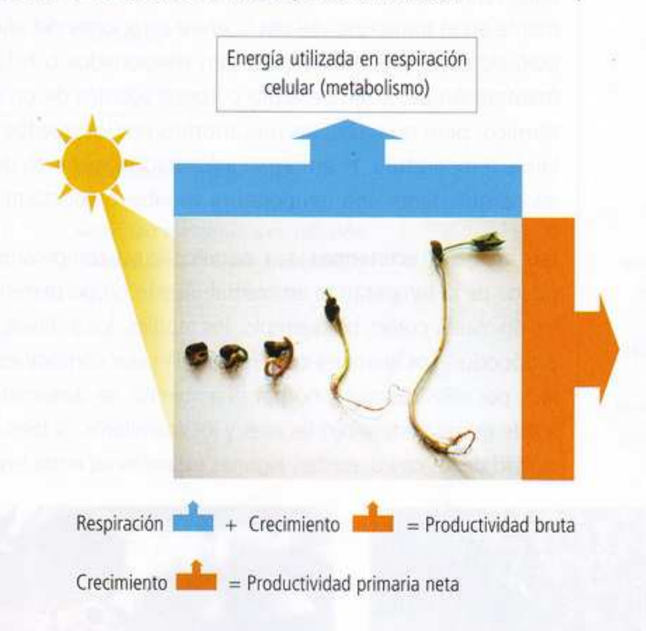
Calor. Todos los sistemas naturales utilizan energía continuamente; esta energía, al final del proceso se transforma en calor. Los seres vivos no disponemos de ningún mecanismo que nos permita reutilizar el calor; por lo tanto, no es útil y sale de los ecosistemas.

Productividad

La **productividad** es una medida de la **cantidad de energía solar que es transformada en moléculas orgánicas**, mediante la fotosíntesis o quimiosíntesis que realizan los organismos productores.

Básicamente, se distinguen dos tipos de productividad: la **productividad primaria bruta**, que es una medida de la tasa de asimilación de energía por los productores, y la **productividad primaria neta**, que es la productividad bruta menos el costo de las actividades metabólicas (como la respiración celular) de los organismos productores.

Habitualmente, la productividad (bruta o neta) se expresa como la cantidad de energía, medida en calorías o unidades equivalentes, almacenada en los compuestos químicos de los organismos, por unidad de tiempo; o como el incremento de la biomasa (crecimiento), medida en gramos o toneladas, en un período de tiempo determinado.



La productividad bruta de un ecosistema no depende solo de la cantidad de luz que reciba el ecosistema, también son importantes los nutrientes que estén presentes en el medio, la humedad relativa del lugar y la temperatura. La productividad primaria neta se utiliza para comparar la productividad entre ecosistemas. No se utiliza la productividad bruta, porque el cálculo de la energía perdida en la respiración es variable y difícil de estimar, incluso para una sola especie. El crecimiento puede ser medido de forma eficaz, considerando la cantidad de materia orgánica seca, acumulada en una superficie determinada y en un tiempo concreto (g/m^2/año).

Productividad de distintos ecosistemas. Uno de los ecosistemas más productivos (14.000 g/m^2/año, aprox.) son los estuarios (desembocaduras de los ríos). En Chile los aprovechan empresas salmoneras para desarrollar esta actividad. Los bosques templados y los lagos son sistemas poco productivos (entre 1.000 y 2.000 g/m^2/año). Finalmente, los desiertos, como el de Atacama, constituyen los sistemas menos productivos (entre 70 y 200 g/m^2/año). La Antártica o la cordillera son zonas con productividad prácticamente nula.

Organismos homeotermos y poiquilotermos

Las reacciones bioquímicas son extremadamente sensibles a los cambios de temperatura. Las enzimas que posibilitan estas reacciones tienen una temperatura óptima de acción, en la que son altamente eficaces. Cuando las temperaturas descienden, la efectividad de las enzimas disminuye, haciendo que el metabolismo del animal disminuya, lo que puede modificar su conducta. Por el contrario, si la temperatura aumenta demasiado, la actividad enzimática se desequilibra, desnaturalizando las enzimas y matando al ser vivo. En consecuencia, existe una estrecha relación entre la temperatura, el metabolismo y la conducta de los animales.

Los organismos **poiquilotermos** son aquellos que poseen una temperatura corporal variable dentro de cierto rango. Esto tiene como consecuencia que ocurran variaciones periódicas en el nivel de su actividad metabólica. Los **homeotermos** son animales cuya temperatura corporal, bajo condiciones de normalidad, es constante y no varía significativamente en el transcurso del día ni entre estaciones del año. Los términos poiquilotermo y homeotermo están relacionados con la variación o la mantención de la temperatura corporal (dentro de un estrecho rango térmico) pero no indica los mecanismos por los que los animales regulan la temperatura, ni entregan información respecto de la fuente que les permite tener una temperatura variable o constante.

Existen animales cuya temperatura es variable (poiquilotermos) y dependiente del ambiente (ectotermos); y animales cuya temperatura es constante (homeotermos) y que no dependen del ambiente porque la fuente de calor está en su interior (endotermos).

Los animales **ectotermos** son aquellos cuya temperatura corporal depende de la temperatura ambiental. A este grupo pertenecen casi todos los animales, como, por ejemplo, los reptiles, los anfibios, los peces, y los artrópodos. Los animales cuya fuente de calor corporal es interna y regulada por ellos mismos y no por el ambiente, se denominan **endotermos**, a este grupo pertenecen las aves y los mamíferos. Si bien esta es la generalidad de los casos, existen algunas excepciones entre insectos y reptiles.

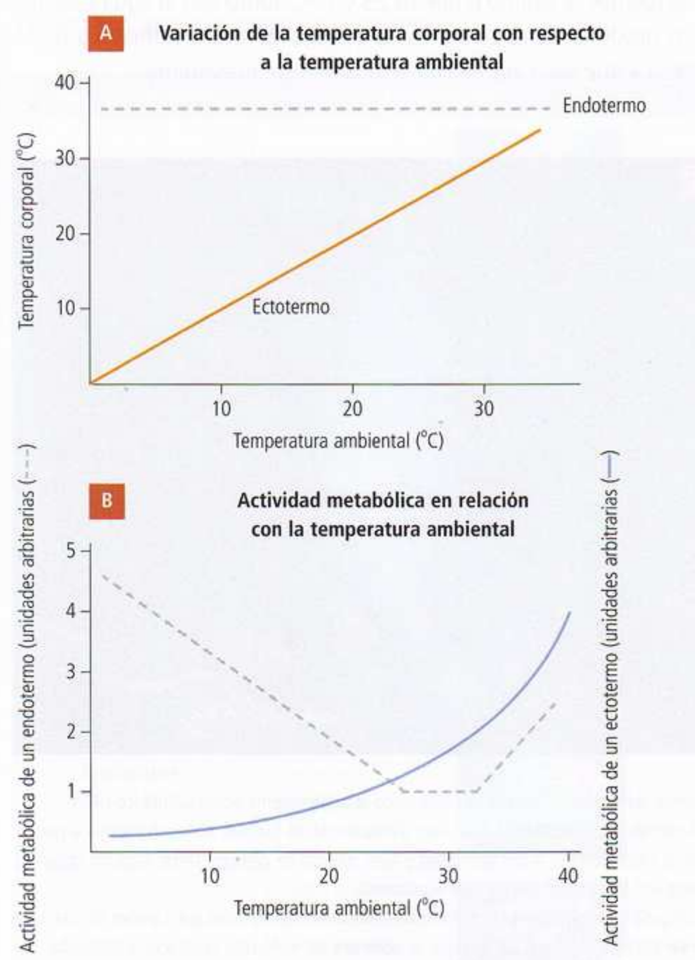


Animal ectotermo.



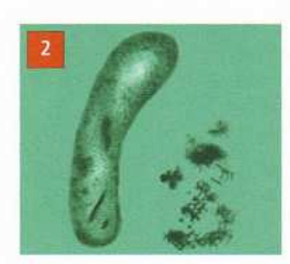
Animal endotermo.

Los animales endotermos pueden permanecer activos durante todo el invierno, manteniendo una tasa metabólica constante. Sin embargo, mantener elevada la temperatura interna durante los períodos de baja temperatura, tiene un alto costo que se traduce en la necesidad de entregar constantemente "combustible al sistema" en forma de alimento. Por ejemplo, mientras un cocodrilo, que es un animal ectotermo, puede pasar meses sin alimentarse, los humanos, que somos animales endotermos, necesitamos comer, en promedio, cada 5 horas.



La temperatura corporal de un organismo endotermo permanece constante mientras que la de uno ectotermo varía con la temperatura ambiental (gráfico A). A medida que la temperatura ambiental disminuye, la producción de calor metabólico aumenta en los animales endotermos mientras que desciende en los ectotermos (gráfico B).

3 Ecosistemas quimiosintéticos



Bacteria quimioautótrofa.



Gusanos tubículas o pogonóforos (*Rifita pachyptila*).



Almejas y mejillones.



Cangrejo (*Bythograea thermydron*).



Pez zoarcido (*Thermarcer cerberus*).

En el año 1977 se descubrió un nuevo tipo de ecosistema en el fondo del mar, a unos 2.800 metros de profundidad, específicamente en la zona en que chocan dos placas tectónicas formando la Grieta de las Galápagos. La vida en este ecosistema no depende de la energía solar sino de la energía geotérmica que proviene del interior de la tierra. En los distintos lugares en que hasta ahora se han descubierto estos tipos de ecosistemas, existen **fuentes hidrotermales** que liberan emanaciones de agua caliente y minerales. La temperatura del agua alrededor de estas fuentes se estimó entre los 23 y 7 °C. Junto con el agua caliente, salen desde la tierra enormes cantidades de **ácido sulfhídrico** (H_2S), molécula que sería la clave de la vida en este ecosistema.



1. Desde las fuentes hidrotermales sale junto al agua caliente ácido sulfhídrico (H_2S).
2. Bacterias quimioautótrofas que viven alrededor de las fuentes, obtienen energía a partir de la oxidación del ácido sulfhídrico y fijan dióxido de carbono como carbono orgánico, ellas son los productores de este ecosistema.
3. Los gusanos tubículas o pogonóforos son animales invertebrados que carecen de una boca y de sistema digestivo. La energía la obtienen de moléculas orgánicas sintetizadas por colonias de bacterias quimioautótrofas que viven en sus tejidos.
4. Los mejillones y las almejas se alimentan filtrando las bacterias que flotan en el medio.
5. Los cangrejos se alimentan de mejillones y almejas.
6. El pez zoarcido es el "depredador tope" dentro de esta cadena trófica, no enfrenta a depredadores naturales. Se alimenta de cangrejos y moluscos bivalvos (mejillones y almejas).

Comparación entre ecosistemas fotosíntéticos y quimiosíntéticos

El ecosistema basado en las bacterias quimioautótrofas es más pequeño y limitado que el basado en la fotosíntesis; la fuente de energía es constante ya que emerge desde el fondo de la tierra, pero solo puede existir la vida alrededor de la fuente hidrotermal, donde la temperatura del agua permite la subsistencia de las bacterias. En cambio, en los ecosistemas basados en energía solar, la energía lumínica incide, directa o indirectamente sobre todos los ecosistemas.

Tipo de ecosistema	Fotosintético	Quimiosintético
Fuente de energía	Sol.	Fuentes hidrotermales, desde las que sale ácido sulfhídrico.
Mecanismo de obtención de energía	Fotosíntesis.	Oxidación de ácido sulfhídrico.
Termodinámica del ecosistema	Ecosistemas interconectados: se intercambia la energía entre ellos.	Ecosistemas autosuficientes: son independientes de todos los otros ecosistemas conocidos.
Productores	Plantas y cianobacterias fotosintéticas.	Bacterias quimioautotróficas. No hay plantas.
Biodiversidad	Variados ecosistemas, algunos con miles de especies diferentes. Todos los cordados e invertebrados, hongos, algas y plantas también están presentes.	Pequeños ecosistemas, con un reducido número de especies.

4 Estructura trófica de las comunidades



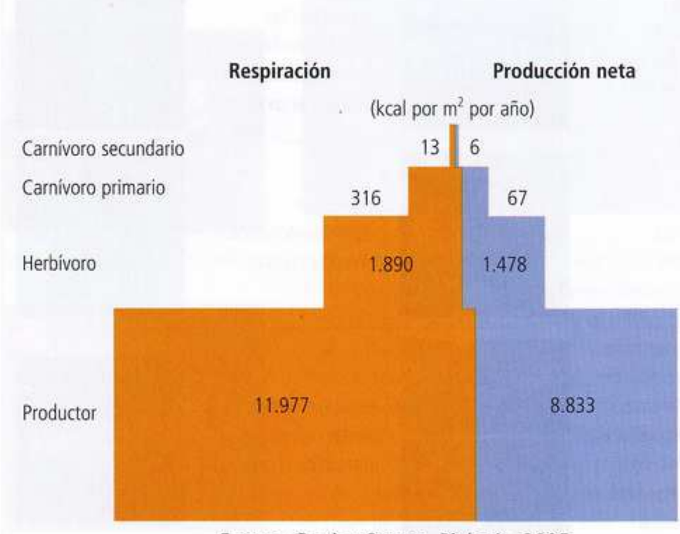
Todos los niveles de consumidores dentro de una cadena trófica son heterótrofos (por ejemplo, la oruga), mientras que los productores son autótrofos (por ejemplo, las plantas).

Flujo de energía en las comunidades

Dentro de una comunidad, las plantas, las algas y las cianobacterias son los organismos **productores**, ya que son estos seres vivos los que utilizan la energía del Sol y la transforman en energía química para nutrirse. Así, estos organismos no dependen de otros organismos para su nutrición, por lo que se denominan **autótrofos**.

Las plantas y algas sirven de alimento para los herbívoros que corresponden a los **consumidores primarios**, quienes transforman la energía que obtuvieron de los productores en tejidos animales. Luego, los herbívoros sirven de alimento para los **consumidores secundarios**, nivel constituido por animales carnívoros, los que a su vez pueden ser el alimento de otros carnívoros, los **consumidores terciarios**, y así hasta los **depredadores tope**, que están libres de depredadores naturales. La nutrición de los consumidores depende de otros seres vivos, por lo cual constituyen organismos **heterótrofos**.

Alrededor de un 80 y 90% de la energía química que ingiere un animal la utiliza en mantener sus procesos metabólicos y se disipa en forma de calor, mientras que solo un 10 ó 20% es destinada a la construcción de sus propias estructuras (crecimiento y reparación de tejidos). Así, en término medio, cada eslabón de estas cadenas transfiere al siguiente solo un 10 ó 20% de la energía total que recibió.



Transferencia de energía en una comunidad. Solo una pequeña parte de la energía que recibe un ser vivo puede pasársela al nivel siguiente en una forma química que pueda aprovechar, ya que una importante fracción de esta la utiliza en impulsar su metabolismo (que se mide como pérdida por respiración).

Fuente: Curtis y Barnes. Biología. 2005.

Cadenas alimentarias

Una de las características de cualquier comunidad biológica es que hay en ellas una **estructura trófica**, que corresponde a las relaciones de alimentación que existen entre los organismos de las diferentes especies que la componen. Estas relaciones pueden representarse a través de una **cadena alimentaria** o **trófica**.

Una cadena alimentaria es un diagrama de flujo que se inicia con un organismo autótrofo perteneciente a una especie particular que incorpora materia y energía al ecosistema, a través de procesos fotosintéticos, y finaliza con un organismo heterótrofo de otra especie, pero que no es consumido por ningún otro organismo. De esta manera, la materia o sustancias nutritivas, junto con la energía que estas poseen, son traspasadas de un organismo a otro, es decir, desde un **nivel trófico** al siguiente.

En una cadena alimentaria, el **primer nivel trófico** corresponde a los productores, los cuales son de gran importancia pues los demás seres vivos consumen los nutrientes que ellos producen. El **segundo nivel trófico** está constituido por los consumidores primarios (herbívoros). El **tercer nivel trófico** corresponde a los consumidores secundarios (animales carnívoros). Los carnívoros que se alimentan de los consumidores secundarios se llaman consumidores terciarios, y constituyen el **cuarto nivel trófico**; y así sucesivamente. Generalmente, las cadenas alimentarias poseen cinco eslabones como máximo.

Descomponedores. Son bacterias y hongos que obtienen su energía por degradación o descomposición de tejidos muertos. Estos organismos también forman parte de las cadenas tróficas y su importancia radica en que cierran los ciclos de nutrientes en el ecosistema ya que utilizan materia orgánica y la transforman en materia inorgánica, devolviéndola al ambiente.



Primer nivel trófico



Productor.



Segundo nivel trófico



Consumidor primario (herbívoro).

Tercer nivel trófico



Consumidor secundario (carnívoro).

Eslabones de una cadena trófica hipotética.

Gremios. Un ejemplo de gremio son los organismos de diferentes especies de insectos que se alimentan de la corteza de los árboles, en un ambiente determinado como, por ejemplo, un bosque tropical. Los animales (roedores, hormigas y aves), que consumen semillas en una región específica también son ejemplos de un gremio.







Tramas alimentarias

Aunque las cadenas alimentarias nos permiten comprender de manera simple cómo se produce el flujo de materia y energía en una comunidad, esta situación es poco real, ya que en la naturaleza las cadenas alimentarias no se desarrollan de manera independiente sino que se interconectan de un modo más complejo. Por ejemplo, los organismos pertenecientes a una especie vegetal (productores) pueden ser consumidos por distintas especies de herbívoros. De la misma manera, cada uno de estos consumidores primarios puede servir de alimento a individuos de diversas especies carnívoras. Así, para representar la estructura trófica de una comunidad, se utilizan las **redes** o **tramas alimentarias**, que están constituidas por muchas cadenas alimentarias interconectadas entre sí. En las tramas alimentarias, la dirección del flujo de materia y energía entre las especies se representa a través de flechas. En una trama alimentaria, una especie determinada puede ocupar más de un nivel trófico, dependiendo del nivel trófico que ocupen los organismos de los cuales se alimenta (por ejemplo, los omnívoros, que consumen plantas y animales).

La clasificación de los organismos por niveles tróficos se basa en el papel alimentario que desempeñan, aun cuando los miembros de una especie determinada pueden ocupar diferentes niveles tróficos en una comunidad. Los niveles tróficos pueden ser subdivididos en **gremios** o grupos de especies que explotan un recurso común de manera similar.

Estructura trófica de una comunidad en Chile

Entre los ecosistemas terrestres más estudiados en Chile, en cuanto a su estructura trófica, están aquellos que se desarrollan en el Norte Grande. Uno de estos ecosistemas es el de Lomas, que se encuentra ubicado entre los 8° y 30° LS y posee una humedad relativa muy alta, debido a la neblina o camanchaca proveniente del mar. Las diversas especies vegetales (arbustos, hierbas anuales y cactus) que se desarrollan en esta zona, lo hacen en las laderas de la cordillera de la Costa, entre los 300 a 800 metros por sobre el nivel del mar y están especializados en aprovechar el agua que trae la camanchaca.

El siguiente esquema es una representación de las relaciones tróficas que se establecen en este ecosistema.

Trama trófica simplificada del ecosistema de Lomas, ubicado en la III Región de Atacama.

5 Ciclos de la materia en el ecosistema

Composición química de la Tierra y los seres vivos

Composición química de la corteza terrestre (%)	
Oxígeno	46,6 %
Silicio	27,7 %
Aluminio	8,1 %
Hierro	5,0 %
Calcio	3,6 %
Sodio	2,8 %
Potasio	2,6 %
Magnesio	2,1 %
Otros	1,5 %

Composición química de la atmósfera (%)	
Nitrógeno	78,1
Oxígeno	20,9
Argón	0,93
Dióxido de carbono	0,035
Neón, helio y otros gases	0,035

Al estudiar la estructura de la Tierra se distinguen tres componentes que son de gran importancia para la existencia de los seres vivos: la **atmósfera**, la **hidrosfera** y la **corteza terrestre**.

- La atmósfera es una capa gaseosa que envuelve la Tierra. Esta capa de gases resulta imprescindible para la vida debido a tres razones: contiene los gases necesarios para la subsistencia de los seres vivos, atrapa el calor procedente del Sol permitiendo que la superficie terrestre posea una temperatura adecuada y filtra radiaciones solares que pueden ser perjudiciales.

- La hidrosfera corresponde al agua de los océanos, lagos y ríos que recubren cerca del 70 % de la superficie de la Tierra. El agua también es la sustancia química más abundante en los seres vivos desempeñando diversas e importantes funciones en el organismo.

- La corteza terrestre es la capa sólida superficial del planeta. En ella se distinguen la corteza continental que tiene una profundidad aproximada entre 20 y 70 km, y la corteza oceánica, que constituye los fondos oceánicos y tiene un espesor que varía entre los 0 y 10 km.

Los elementos químicos que forman el planeta Tierra son los mismos que se encuentran en los seres vivos. Sin embargo, la **abundancia relativa de cada uno de ellos es distinta**: en la atmósfera el gas más abundante es el nitrógeno, en la corteza terrestre abunda el silicio y en los seres vivos, el oxígeno, el carbono, el hidrógeno y el nitrógeno representan más del 95% de su peso. A partir de esta comparación se puede hipotetizar sobre un criterio de selección de elementos químicos por parte de las primeras formas vida. Estos cuatro elementos, junto con el fósforo y el azufre, pueden unirse por enlaces covalentes y dar origen a una **gran diversidad de moléculas estables y complejas** que pueden ser utilizadas por las células en sus reacciones metabólicas y en la formación de sus estructuras.

Composición química de los seres vivos (%)			
	Hombre	Plantas	Bacterias
Oxígeno	62,8	77,9	73,7
Carbono	19,4	11,3	12,4
Hidrógeno	9,3	8,7	9,94
Nitrógeno	5,1	0,83	3,04
Fósforo	0,63	0,71	0,6
Azufre	0,1	0,10	0,32

Ciclos biogeoquímicos

En los ecosistemas, la **energía fluye** de unos organismos a otros, los que la utilizan para realizar sus reacciones químicas. Cuando esto sucede, una parte de la energía se pierde en forma de calor. En cambio, la **materia circula** a través del ecosistema, es decir, pasa del ambiente a los seres vivos y se transfiere entre ellos, quienes la utilizan y luego devuelven al ambiente. Así, se dice que la materia sigue **ciclos biogeoquímicos** donde participan tanto componentes biológicos como geológicos del ecosistema.

Entre las sustancias que participan en estos ciclos están: el nitrógeno, el carbono, el fósforo, el agua y también ciertos minerales, como el hierro.

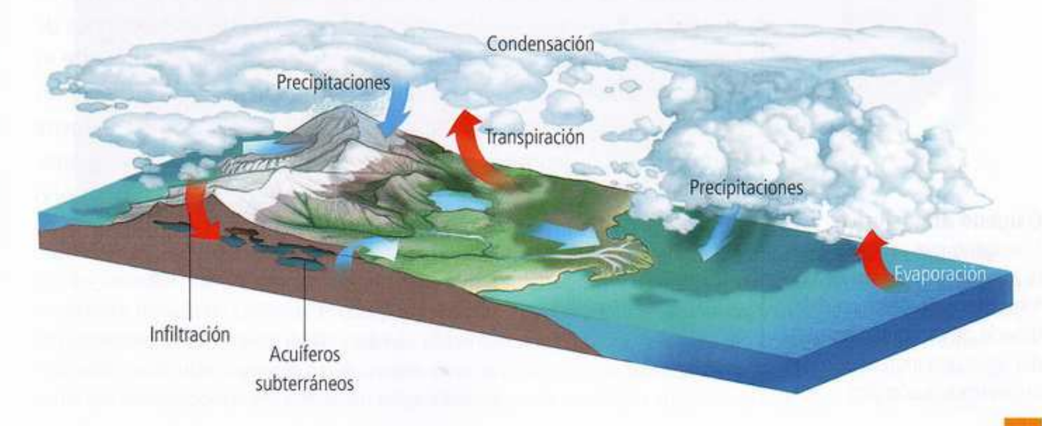
Ciclo del agua

El agua está en constante circulación en la naturaleza. En la atmósfera se encuentra como vapor de agua procedente de la **evaporación** de las aguas superficiales de océanos, lagos y ríos, principalmente. Al disminuir la temperatura del aire, el vapor de agua que contiene se **condensa** en microgotas originando las **nubes**. Desde ellas el agua **precipita** en forma de **lluvia**, **nieve** o **granizo**. En la superfice terrestre el agua de las precipitaciones se reincorpora a los ríos, mares y lagos o también se **infiltra** en el suelo, formando los acuíferos subterráneos.

Los seres vivos también participan en este ciclo debido a que incorporan a su organismo moléculas de agua que son utilizadas y luego devueltas al ambiente. En los animales, por ejemplo, el agua es ingerida, utilizada y luego excretada, como orina, sudor o vapor de agua.

El agua en la Tierra.
La mayor parte del agua (95%) está contenida en los océanos y mares. El resto corresponde a agua dulce que se encuentra en los lagos, ríos y acuíferos subterráneos (2%) y a la gran reserva de agua dulce, en forma de hielo, que contienen los casquetes polares y los glaciares (3%).

Ciclo del agua.



Importancia del carbono. Todos los compuestos orgánicos presentes en organismos eucariontes o procariontes, contienen carbono. Por esto, se dice que la vida está basada en el carbono.

Oxígeno atmosférico. El oxígeno que se libera a la atmósfera producto de la fotosíntesis no proviene del dióxido de carbono, sino que del agua que ingresa a los organismos autótrofos.

Ciclo del carbono y del oxígeno

El carbono (C) y el oxígeno (O) son elementos fundamentales para los seres vivos, ya que forman parte de importantes moléculas orgánicas, como las proteínas, los lípidos y los hidratos de carbono. El oxígeno (O_2) representa el 21% de los gases atmosféricos, y el dióxido de carbono (CO_2), el 0,03 %. Esta proporción se mantiene más o menos constante, debido a que el CO_2 y el O_2 están renovándose permanentemente en la naturaleza por medio de un ciclo durante el cual, en ciertos momentos, estos gases se encuentran al interior de los seres vivos, donde son transformados, y luego vuelven al ambiente, pudiendo ser reincorporados por los organismos.

Los organismos que realizan **fotosíntesis** necesitan CO_2 para llevar a cabo este proceso y, como producto, el O_2 es liberado a la atmósfera. Luego, el oxígeno atmosférico es incorporado junto a moléculas combustibles, como la glucosa, por todos los organismos aeróbicos para obtener energía mediante el proceso de **respiración celular**. Producto de estas reacciones se libera CO_2 que es captado por los organismos fotosintéticos (plantas, algas y cianobacterias) para sintetizar moléculas orgánicas. Así, el carbono es incorporado desde el ambiente abiótico al mundo biológico.

Cuando los animales se alimentan de organismos fotosintéticos, el carbono pasa a formar parte del cuerpo del animal. Lo mismo ocurre cuando los carnívoros se alimentan de otros animales: **las moléculas orgánicas se transfieren a través de las cadenas alimentarias**. Posteriormente, el carbono abandona el cuerpo de los animales, al ser exhalado como CO_2, en las heces fecales y al morir. Excrementos, plantas y animales muertos, restos de hojas y otros desechos orgánicos son consumidos por microorganismos descomponedores. Durante las reacciones de descomposición, parte del carbono se incorpora al suelo y otra parte es liberada nuevamente a la atmósfera en forma de CO_2. Los yacimientos de carbón y de petróleo que se encuentran bajo la superficie terrestre corresponden a depósitos de carbono procedentes de la descomposición de los seres vivos hace más de 300 millones de años. Este carbono es liberado nuevamente a la atmósfera mediante su combustión.

En una escala de tiempo geológico, la concentración de O_2 y CO_2 en la atmósfera ha sufrido importantes variaciones: la atmósfera primitiva carecía completamente de oxígeno hasta que hace unos 2.500 millones de años atrás aparecen las primeras cianobacterias (bacterias fotosintetizadoras), con lo que su concentración comienza a aumentar progresivamente hasta llegar al 21% actual. Respecto al dióxido de carbono, su proporción en la atmósfera disminuyó paulatinamente desde un 30% hace 4.500 millones de años hasta un 0,003% actual. La proporción constante de estos gases en los últimos 900 millones de años se debería a un **equilibrio entre la fotosíntesis** y **la respiración celular**. Sin embargo, desde mediados del siglo XIX, actividades humanas como el uso a gran escala de combustibles fósiles y la destrucción de selvas y bosques, ha ido incrementando la concentración atmosférica de CO_2 debido a que la cantidad de este gas liberado por la respiración y la combustión ha sobrepasado al carbono fijado por fotosíntesis.

Ciclo del carbono y del oxígeno. Durante la fotosíntesis se libera oxígeno a la atmósfera, el cual es utilizado por los animales, las plantas y todos los organismos aeróbicos, mediante la respiración celular. En este proceso se produce dióxido de carbono, el cual posteriormente es liberado a la atmósfera, y utilizado por los organismos fotosintetizadores. A través de las cadenas alimentarias, el carbono y el oxígeno contenidos en las plantas formando moléculas orgánicas pasan a otros seres vivos a través de las cadenas tróficas. Finalmente, los microorganismos descomponedores devuelven estos elementos a la atmósfera al descomponer organismos muertos.

Ciclo del nitrógeno

El nitrógeno (N_2) constituye más del 70% de los gases que componen la atmósfera. Este elemento es fundamental para los seres vivos, ya que forma parte de los **aminoácidos**, a partir de los cuales se sintetizan las **proteínas**. Además, el nitrógeno forma parte de las bases nitrogenadas que constituyen los **ácidos nucleicos** (ADN y ARN) de todos los seres vivos. La mayoría de los organismos no pueden utilizar el nitrógeno atmosférico, sino que dependen del nitrógeno presente en el suelo.

El ciclo del nitrógeno puede dividirse en tres grandes etapas: **amonificación**, **nitrificación** y **asimilación**.

- **Amonificación**. La mayor parte del nitrógeno presente en el suelo proviene de la descomposición del tejido orgánico de animales y vegetales muertos. Dicha descomposición es llevada a cabo por microorganismos descomponedores (bacterias y hongos), los cuales utilizan las moléculas nitrogenadas de los organismos muertos para sintetizar sus propias proteínas, liberando el nitrógeno que no utilizaron al suelo en forma de **amoníaco** (NH_3) o **amonio** (NH_4^+).

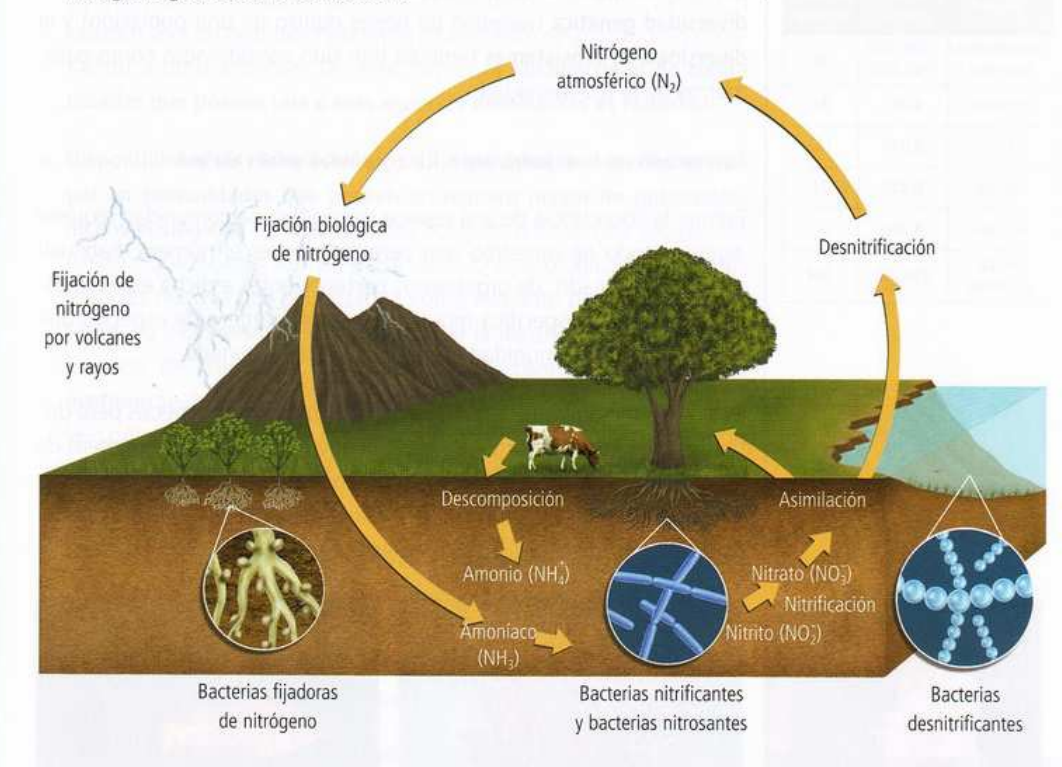
- **Nitrificación**. El amoníaco y el amonio presentes en el suelo son utilizados como fuentes de energía por bacterias que habitan los suelos. Así, el amoníaco y el amonio son transformados luego en **nitritos** (NO_2^-), gracias a la acción de un tipo de bacterias llamadas **bacterias nitrosantes**. A su vez, los nitritos son transformados en **nitratos** (NO_3^-), debido a la acción de otras bacterias, llamadas **bacterias nitrificantes**. Además, existe un tipo de **bacterias fijadoras de nitrógeno**, que transforman el nitrógeno atmosférico en amoníaco.

Wikimedia Commons

Nódulos de la raíz donde viven las bacterias fijadoras de nitrógeno.

Bacterias simbióticas. Un tipo importante de bacterias fijadoras de nitrógeno son las del género *Rhizobium*, debido a la gran cantidad total de nitrógeno que fijan. Estas bacterias invaden las células de la raíz de leguminosas (como, por ejemplo, soya, trébol, alfalfa, porotos y arvejas), estableciendo una relación mutualista con la planta: el amoníaco producido por las bacterias es utilizado por el vegetal para fabricar sus aminoácidos, y la planta le entrega compuestos carbonados para obtener energía.

- **Asimilación**. Los nitratos son el principal compuesto nitrogenado que los vegetales absorben desde el suelo por medio de las raíces. Una vez dentro del vegetal, el nitrato se transforma en amonio y a partir de él las células vegetales sintetizan aminoácidos, monómeros fundamentales para la síntesis de proteínas. Estos aminoácidos pasan a los animales herbívoros, luego a los carnívoros, y así, sucesivamente, a través de las cadenas alimentarias. Finalmente, las **bacterias desnitrificantes**, presentes en el suelo, descomponen los nitratos, liberando nitrógeno gaseoso a la atmósfera.



Ciclo del nitrógeno. Las bacterias fijadoras de nitrógeno que viven en las raíces de algunas plantas o en el suelo convierten el nitrógeno atmosférico (N_2) en amoniaco (NH_3). Cuando los organismos mueren, sus desechos nitrogenados son transformados en amonio (NH_4^+) y amoniaco (NH_3) por microorganismos descomponedores. Después, estos compuestos son transformados en nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) por bacterias nitrosantes y bacterias nitrificantes, respectivamente. Los vegetales asimilan los nitratos y los utilizan en la formación de sus proteínas y ácidos nucleicos. Luego, los animales se alimentan de las proteínas vegetales para sintetizar sus propias proteínas.

Biodiversidad mundial. Se ha estimado que en el planeta existirían entre 5 a 30 millones de especies, de las cuales solo 1,7 millones han sido descritas. De ese total, entre un 5-20% se habrían extinguido por acción del hombre.

Grupos	Número (aprox.)	Especies extintas
Invertebrados (insectos)	1.000.000 (750.000)	98
Mamíferos	4.000	83
Aves	9.000	113
Reptiles	6.300	21
Anfibios	4.200	2
Plantas vasculares	250.000	384

La **biodiversidad** comprende el número de especies en un área determinada, lo que se conoce como **riqueza específica**. Además, se relaciona directamente con la cantidad de organismos de cada especie presente en dicha región, lo que se conoce como **abundancia relativa**. La mayoría de las investigaciones actuales respecto de la biodiversidad de una región determinada consideran a la especie como unidad fundamental de estudio, es decir, se utiliza la riqueza específica como parámetro de medición de la biodiversidad. Así, la riqueza específica permite comparar la biodiversidad entre comunidades. Sin embargo, la **diversidad genética** (variedad de genes dentro de una población) y la **diversidad de ecosistemas** también han sido consideradas como parámetros de la biodiversidad.

Estimación de la riqueza específica y abundancia relativa

Estimar la abundancia de una especie dentro de una comunidad requiere algún método de muestreo que permita conocer el número, habitualmente aproximado, de organismos pertenecientes a dicha especie. Estimar la riqueza específica requiere contar el número de especies que conforman una comunidad en una región determinada.

Dos o más regiones pueden presentar igual número de especies pero distinto número total de organismos, o pueden presentar igual número de especies pero de diferente tipo. También puede ocurrir que presenten diferente número de especies, distinta cantidad de organismos pertenecientes a cada especie y diferentes especies.









Las estimaciones de los parámetros que determinan la biodiversidad se basan en la correcta identificación de cada una de las especies que habitan en una región determinada.

Factores que determinan la biodiversidad

El número de especies de una región (biodiversidad) está determinada tanto por factores bióticos como abióticos. Entre los factores bióticos se encuentran:

- **Especies dominantes**. Son especies que poseen las condiciones para utilizar y apropiarse de una gran cantidad de los recursos disponibles en una comunidad (su alimentación es muy variada o pueden vivir en distintos hábitats, por ejemplo) desplazando o eliminando a otras especies. De esta forma, **la biodiversidad de comunidades que poseen una o más especies dominantes es reducida**.
- **Disponibilidad de nicho ecológico**. La **diversidad de especies es mayor en comunidades que poseen un número mayor de potenciales nichos ecológicos**. Por ejemplo, los bosques poseen una vegetación variada que puede formar parte del nicho ecológico de distintas especies de aves que la utilizarían como alimento o refugio y, por lo tanto, su biodiversidad sería mayor que la de un desierto. Además, la zona de transición entre dos o más comunidades, llamada **ecotono**, se caracteriza por poseer una riqueza específica mayor que las comunidades que ahí convergen. Esto se debe a que un ecotono alberga la mayoría de los nichos ecológicos presentes en dichas comunidades.

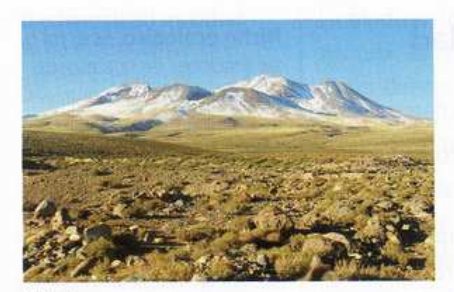
Nicho ecológico. Es el rol o las funciones de una especie determinada en la comunidad de la cual forma parte. También abarca las interacciones con todos los factores bióticos y abióticos de su ambiente.

De manera general, el **clima** y el **relieve** son los principales factores abióticos que influyen en la biodiversidad. Por lo tanto, si estos factores varían en distintas regiones, es posible que la diversidad de especies presente en dichas regiones también sea diferente. Algunas condiciones que determinan la biodiversidad son:

- **Latitud**. En general, la **diversidad de especies es mayor en regiones más cercanas al ecuador** (menor latitud), lugares donde la radiación solar es mayor, el clima es más cálido y las condiciones ambientales son más estables y predecibles en el tiempo. Las zonas alejadas del ecuador (mayor latitud) reciben menor cantidad de energía solar y tienen un clima más frío e inhóspito con mayor variabilidad ambiental, y en algunas zonas, como aquellas cercanas a las regiones polares, con gran homogeneidad del paisaje. Es así como las regiones ecuatoriales poseen alrededor de 45.000 especies de plantas y cerca de 1.300 especies de aves, mientras que en las regiones más septentrionales el número total de estas especies es aproximadamente la mitad.



La latitud es un factor que determina, en parte, el número de especies en una región.


Altiplano.


Litoral.


Desierto de Atacama.


Bosque valdiviano.

En Chile, por ejemplo, la biodiversidad está determinada, en parte, por las **condiciones climáticas** a lo largo del territorio nacional, las que **varían latitudinalmente y también altitudinalmente**. Las unidades de relieve, como cordilleras y valles, también manifiestan modificaciones en las diferentes latitudes del país. La cordillera de los Andes y de la Costa ejercen un efecto de biombo, al detener con sus elevadas cumbres los vientos que provienen del Oeste, concentrando las precipitaciones en el lado occidental cordillerano. Además, la cantidad de luz que reciben las laderas de las montañas permite diferenciar las de exposición polar (sur) más húmedas y frías de las de exposición ecuatorial (norte) más secas y cálidas. Debido a esto, es posible que las unidades de relieve en una misma región no presenten condiciones climáticas idénticas, y por lo tanto, la biodiversidad asociada a ellas sea distinta.

- **Aislamiento geográfico**. Las zonas aisladas geográficamente presentan un número de especies menor que en regiones con características ambientales similares pero que no se encuentran aisladas. Por ejemplo, en las islas, la riqueza específica es menor que en una región con características ambientales parecidas pero que se encuentra en el continente.

La variedad de paisajes en Chile y la biodiversidad que albergan están estrechamente asociadas a las diferencias en el clima y el relieve que se observan a lo largo y ancho del territorio.

Endemismo

El aislamiento geográfico permite explicar la presencia de muchas **especies endémicas**: especies que además de ser propias de un lugar determinado (nativas), se encuentran solo en ese ecosistema, región o país.

Chile es reconocido internacionalmente como un área con altos niveles de **endemismo**, es decir, con muchas especies presentes solo en territorio chileno. El desierto en el norte, los hielos antárticos en el sur, el océano en el oeste y la cordillera de los Andes al este, constituyen barreras para la dispersión natural de muchas especies. Estas características del relieve, asociadas a las condiciones climáticas, crean una situación de aislamiento geográfico en gran parte de nuestro país, lo cual limita las posibilidades de intercambio de especies animales y vegetales con otras áreas de Sudamérica.


Quillay


Palma chilena


Zorro chilote (o de Darwin)


Rana chilena

Especies endémicas en Chile. En nuestro país alrededor de la mitad de las especies de plantas vasculares son endémicas. También existe un alto nivel de endemismo de insectos, anfibios y reptiles.

Aun cuando la cordillera de los Andes actúa como una barrera que determina el aislamiento geográfico de muchas especies de nuestro país, también ofrece gran **continuidad ecológica** (ambientes similares), a ciertas alturas, a pesar de cruzar zonas de diferente tendencia climática. Por lo tanto, actúa como **vía de migración** para algunos seres vivos, lo que explica la amplia distribución geográfica que presentan algunas especies. Por ejemplo, el zorro culpeo, el cóndor y el puma habitan zonas asociadas a la cordillera de los Andes a lo largo de toda América del Sur.

Era	Período	Época	Tiempo
Cenozoico	Paleógeno	Paleoceno	65-57 m.a.
		Eoceno	57-34 m.a.
		Oligoceno	34-23 m.a.
	Neógeno	Mioceno	23-5 m.a.
		Plioceno	5-1,8 m.a.
		Pleistoceno	1,8 0,01 m.a.
		Holoceno	0,01 0 m.a.

Cambios en el clima y el relieve

Al comenzar el período **Paleógeno** (hace unos 65 millones de años), en Sudamérica existían **condiciones climáticas tropicales** (cálidas y húmedas) y **subtropicales**, hasta el extremo sur. Gran parte de la Antártica estaba poblada por bosques de clima cálido lluvioso y subtropical. La Patagonia que presenta hoy condiciones frías y áridas, con vegetación de hierbas principalmente, estuvo poblada de bosques propios de los climas cálidos.

Tal situación se extendió hasta el **Mioceno** (23 a 5 millones de años atrás), período en el que habría comenzado el retroceso de las condiciones climáticas tropicales, causado por el congelamiento de la Antártica y, por lo tanto, el consecuente avance hacia el norte de las **condiciones más frías y secas**. Durante el Mioceno **se levanta la cordillera de los Andes** y termina de congelarse la Antártica, con lo cual la corriente marina de Humboldt, que circula en la costa pacífica de sur a norte, se volvió más fría. Esto disminuyó la evaporación y, por consiguiente, las precipitaciones al interior del continente.

Durante el **Plioceno** (unos 5 a 2 millones de años atrás) la cordillera de los Andes adquirió grandes alturas y constituyó una barrera para los vientos húmedos que se desplazaban de este a oeste (en la zona norte), generando las **condiciones de aridez en el norte** de Chile. Este fue uno de los factores que contribuyó en la formación del desierto de Atacama.

En el **Pleistoceno** (entre 2 millones a 10.000 años atrás) se produjeron glaciaciones que cubrieron de hielo zonas comprendidas desde el extremo sur de Chile hasta Chiloé. La depresión intermedia quedó cubierta de hielo hasta el norte de Valdivia. La cordillera andina sufrió este efecto glacial hasta la latitud de Santiago aproximadamente. Hacia el norte de la X Región de Los Lagos, la parte occidental de la cordillera costera quedó libre de la acción de los hielos, lo cual constituyó un refugio para la flora y fauna de los bosques del sur.



La cordillera de los Andes que se extiende por Sudamérica desde Venezuela hasta la Antártica, se originó durante el Mioceno y se modificó lentamente, con el transcurso del tiempo.

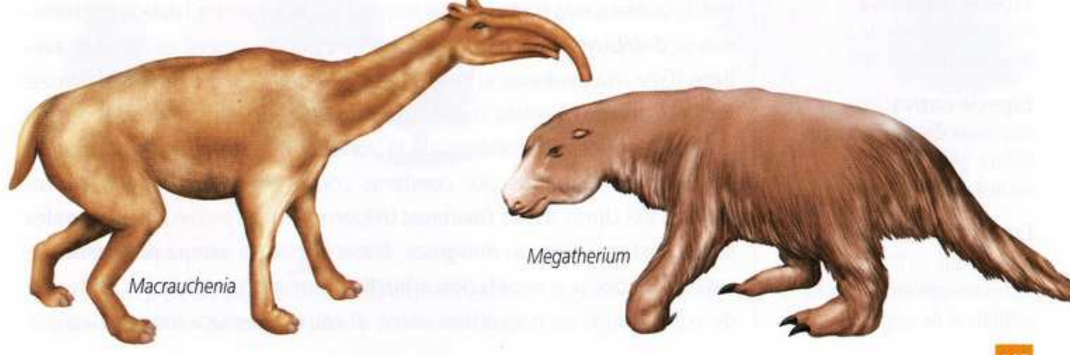
Diversidad de especies en el pasado

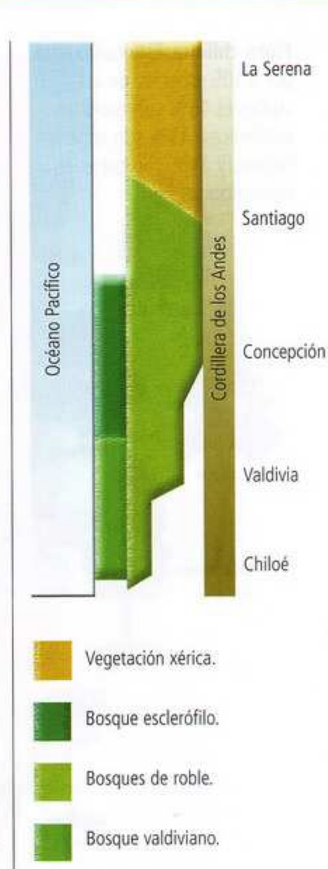
Flora

Hace unos 15 a 10 mil años atrás, en Chile la **vegetación xérica** característica de zonas más áridas y compuesta principalmente por espinos, se extendía hasta el norte de Santiago. Entre Santiago y hasta la X Región de Los Lagos se encontraba el **bosque de roble**. El **bosque esclerófilo**, compuesto por especies como el boldo, el litre y el peumo, se distribuía por la costa desde Concepción hasta Rancagua aproximadamente y el **bosque lluvioso valdiviano**, formado por coigües, avellano y lingue, entre otras especies, se extendía entre la costa de Chiloé y Concepción.

Fauna

A comienzos del **Paleógeno** (65 millones de años atrás) en Sudamérica existían **marsupiales, edentados** (mamíferos sin dientes) y **ungulados primitivos** (mamíferos con patas terminadas en pezuñas). Algunos de los descendientes de estos animales fueron ***Macrauchenia*** (ungulado) que vivió hasta el Pleistoceno (2 millones de años–10 mil años atrás). Dos edentados, ***Megatherium*** y ***Mylodon*** también vivieron durante este período. Hace 3,7 a 3,1 millones de años aproximadamente, se produjo la conexión entre América del Norte y América del Sur a través del istmo de Panamá (América Central), con lo cual penetran a Sudamérica provenientes de Norteamérica animales como los **mustélidos** (chingues y nutrias), **félidos** (pumas y gato montés), **cánidos** (zorros), **camélidos** (guanaco y vicuña), **cérvidos** (huemul y pudú), **équidos** (caballo) y **mastodontes**. Algunas de estas especies inmigrantes compitieron con animales originarios y los eliminaron mientras que muchas otras, como los mastodontes y caballos, se extinguieron. Lo mismo ocurrió con especies autóctonas, como el *Mylodon*.





Vegetación de Chile durante el período Neógeno.

Flora chilena. Está compuesta por 5.105 especies, de las cuales el 46% son especies endémicas, 43% son especies nativas y 11% son especies naturalizadas.

Diversidad de especies actuales

La riqueza específica en nuestro país (plantas y animales, sin considerar las especies marinas) se ha estimado en unas **29.000 especies**, de las cuales **6.333 serían endémicas**. Sin embargo, se cree que estas cifras serían muy inferiores a las de especies que realmente habitan en territorio chileno.

Flora

En el extremo norte la vegetación está compuesta principalmente por **hierbas anuales**, **cactáceas** y **arbustos**. En la región desértica interior se encuentra el **tamarugo** (*Prosopis tamarugo*), que se desarrolla gracias a aguas subterráneas de baja profundidad. En el altiplano, entre los 1.700 y 3.000 metros de altura, se distribuye el **cactus candelabro** (*Browningia candelaris*) y sobre los 4.000 metros, la **llareta** (*Azorella compacta*). En la zona del Norte Chico (III Región de Atacama y IV Región de Coquimbo) las precipitaciones ocasionales permiten el desarrollo de herbáceas que florecen cuando las condiciones de humedad son las adecuadas, formando el **desierto florido**. Desde la IV Región de Coquimbo hasta latitudes cercanas a la de Santiago por el sur, la vegetación está compuesta por **espinos** (*Acacia caven*) **chaguales** (*Puya sp.*) y **quiscos** (*Echinopsis chilensis*), entre otros.

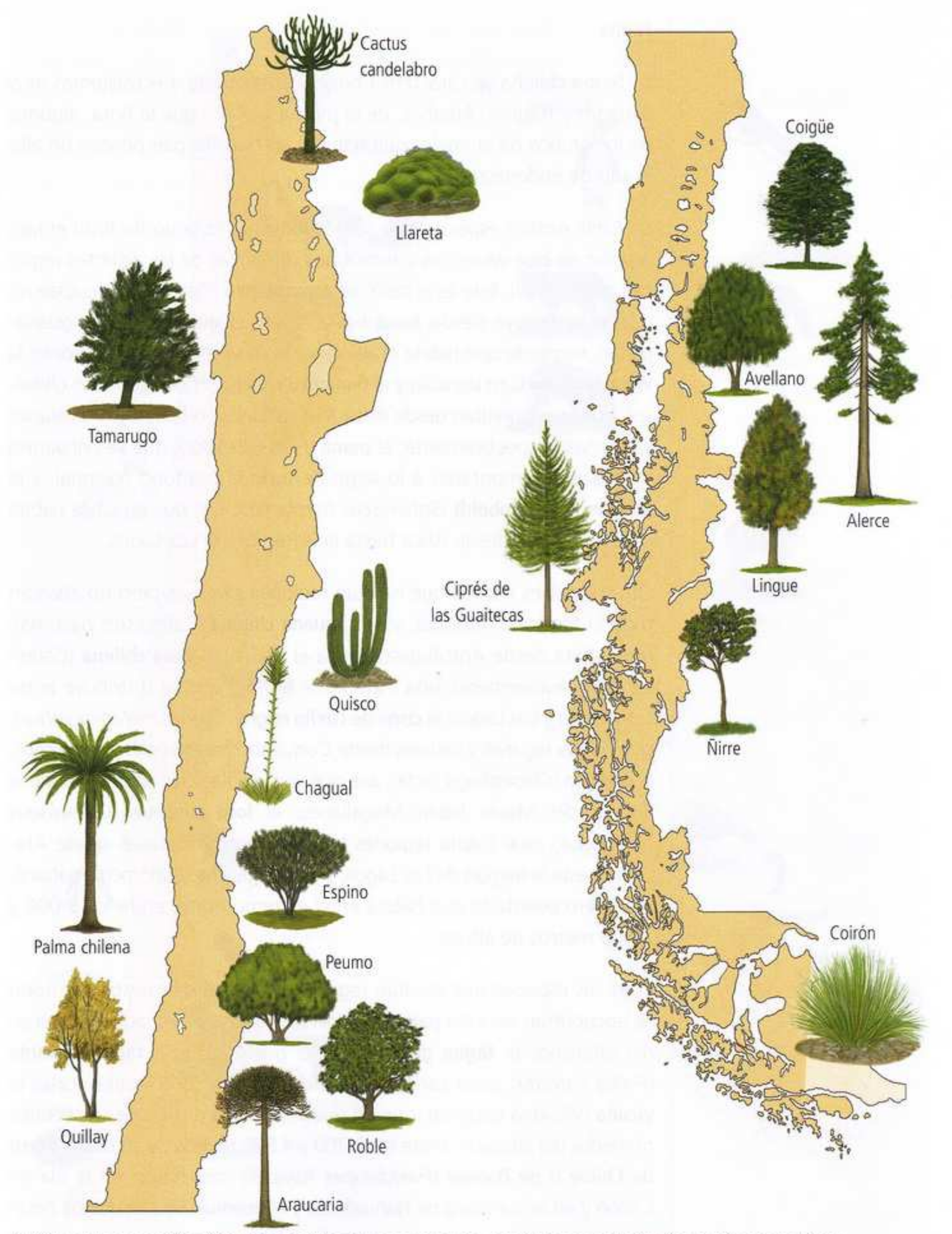
El **bosque esclerófilo** es la formación vegetal que se distribuye en las laderas de la cordillera de los Andes y de la Costa, entre la V Región de Valparaíso y la VII Región del Maule. Está formado por especies de árboles y arbustos como el **boldo** (*Peumus boldus*), el **quillay** (*Quillaja saponaria*), el **litre** (*Lithrea caustica*), el **peumo** (*Cryptocarya alba*) y la **palma chilena** (*Jubaea chilensis*), entre otros. Desde el sur de la VII Región del Maule hasta el norte de la IX Región de la Araucanía se extiende el **bosque de robles** representado principalmente por especies de ***Nothofagus***.

Desde la Araucanía hasta la X Región de Los Lagos, en los faldeos cordilleranos se distribuye el **bosque valdiviano** formado por especies como el **avellano** (*Gevuina avellana*), el **coigüe** (*Nothofagus dombeyi*), el **lingue** (*Persea lingue*) y el **tepu** (*Tepualia stipularis*), entre otros. En el extremo más austral de Chile, en los archipiélagos de la zona, la vegetación está compuesta por **bosques** formados por coníferas como el **alerce** (*Fitzroya cupressoides*) y el **ciprés de las Guaitecas** (*Pilgerodendron uviferum*), **matorrales bajos, pastos** y **turberas musgosas**; hacia el este, la **estepa patagónica** se caracteriza por una **vegetación arbustiva** formada por especies en forma de cojín y otras de baja altura como el **coirón** (*Festuca magellanica*).

Especie endémica. Especie exclusiva de un territorio determinado.

Especie nativa. Especie originaria del territorio que habita, pero que no es exclusiva de ese lugar.

Especie naturalizada. Especie que se ha establecido exitosamente en un territorio distinto al de origen.



Distribución geográfica (simplificada) de algunas especies vegetales en el territorio continental chileno. *Adaptado de: Atlas geográfico para la educación. IGM. Chile.*

Fauna

La fauna chilena se caracteriza por estar adaptada a ecosistemas muy variados y frágiles. Además, de la misma manera que la flora, algunos de los grupos de animales que habitan en nuestro país poseen un alto grado de endemismo.

En Chile existen especies que se distribuyen a lo largo de todo el país a pesar de que varíen las condiciones climáticas de las distintas regiones que habitan. Este es el caso del **zorro culpeo** (*Pseudalopex culpaeus*), que se distribuye desde Arica hasta Aisén; el **guanaco** (*Lama guanacoide*), camélido que habita el altiplano, la zona centro y la Patagonia; la **vizcacha** (*Lagidium viscacia*) y el **flamenco chileno** (*Phoenicopterus chilensis*), que se encuentran desde Arica a Magallanes en faldeos cordilleranos y lagunas, respectivamente; el **puma** (*Felis concolor*), que se encuentra en bosques y montañas a lo largo de todo el territorio nacional, y el **pingüino de Humboldt** (*Spheniscus humboldti*), ave que en Chile habita la zona costera desde Arica hasta la X Región de Los Lagos.

Otras especies nativas que habitan regiones extensas pero no abarcan todo el territorio nacional, son la **iguana chilena** (*Callopistes palluma*), que habita desde Antofagasta hasta el Maule; la **rana chilena** (*Caudiverbera caudiverbera*), una especie de anfibio que se distribuye entre Coquimbo y Los Lagos; el **cisne de cuello negro** (*Cygnus melancoryphus*), que habita lagunas y canales desde Coquimbo hasta el cabo de Hornos; el **caiquén** (*Chloephaga picta*), ave que vive en planicies abiertas desde la Región del Maule hasta Magallanes; el **loro tricahue** (*Cyanoliseus patagonus*), que habita regiones boscosas precordilleranas desde Atacama hasta la Región de Los Lagos, y el **quirquincho** (*Euphractus nationi*), mamífero edentado que habita en el extremo norte, entre los 3.000 y 3.500 metros de altura.

Entre las especies que habitan regiones limitadas de nuestro territorio se encuentran las aves **parinas** (*Phoenicoparrus sp*) en lagos y lagunas del altiplano; la **tagua gigante** (*Fulica gigantea*) y la **tagua cornuda** (*Fulica cornuta*), aves características de la zona cordillerana norte; la **vicuña** (*Vicugna vicugna*), que en nuestro país se distribuye en sectores húmedos del altiplano, entre los 3.700 y 4.800 metros de altitud; el **zorro de Chiloé** o **de Darwin** (*Pseudalopex fulvipes*), que habita en la isla de Chiloé y en la cordillera de Nahuelbuta y el **huemul** (*Hippocamelus bisulcus*), en las laderas cordilleranas en el extremo sur.



Distribución geográfica (simplificada) de algunas especies animales en el territorio continental chileno.
Fuente: Atlas geográfico para la educación. IGM. Chile.

8 Disminución de la biodiversidad

Las extinciones masivas de especies son procesos que han ocurrido en la naturaleza a lo largo de distintos períodos geológicos; sin embargo, desde hace bastante tiempo el **deterioro ambiental** producto de la **actividad humana** ha sido uno de los principales factores que ha causado la desaparición de especies y, por lo tanto, la disminución de biodiversidad tanto en nuestro país como en el mundo entero.

Algunas de las perturbaciones introducidas por el hombre que causan disminución de la biodiversidad son las siguientes:

- **Aumento de las áreas urbanas e industriales**. Los centros urbanos, las áreas residenciales, comerciales e industriales, alteran el entorno natural, y los seres vivos deben desplazarse en busca de ambientes naturales no intervenidos.



Ciudad de Santiago, Chile.



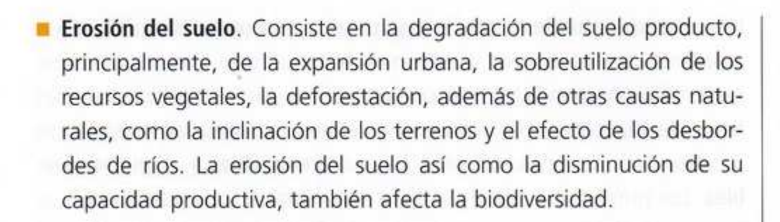
Vertedero de basura.

- **Contaminación del ambiente**. Con el incremento de los centros urbanos, aumentan las industrias y los vehículos motorizados, lo que genera contaminación. Además, es común que se contaminen los ríos que atraviesan las ciudades, ya que a ellos se vierten aguas servidas y basura, lo que contribuye a aumentar el deterioro ambiental perjudicando el entorno natural y alterando la biodiversidad, tanto en los ambientes terrestres como en los acuáticos.



Incendio forestal.

- **Deforestación**. La tala y los incendios forestales causan deforestación. Los incendios forestales terminan con la vida vegetal y con la vida de los animales asociados a estos vegetales; por ejemplo, la pérdida de árboles maduros podría implicar la reducción de poblaciones de insectos especialistas en vivir bajo cortezas de árboles.



- **Erosión del suelo**. Consiste en la degradación del suelo producto, principalmente, de la expansión urbana, la sobreutilización de los recursos vegetales, la deforestación, además de otras causas naturales, como la inclinación de los terrenos y el efecto de los desbordes de ríos. La erosión del suelo así como la disminución de su capacidad productiva, también afecta la biodiversidad.

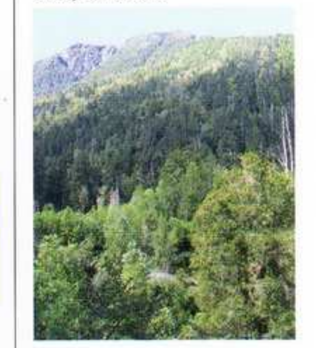
- **Introducción de especies**. Las **especies exóticas** o **introducidas** son todas las especies presentes en una región que no han evolucionado en esa zona o no han llegado por un mecanismo natural de dispersión. Algunas especies exóticas vegetales no solo modifican el paisaje, sino que afectan la biodiversidad, pues compiten con las especies nativas. Por ejemplo, el remplazo de bosques nativos por plantaciones de especies exóticas, tales como el pino insigne y el eucaliptus, conlleva la pérdida de numerosas especies vegetales nativas y de otras especies de organismos que viven en estos bosques. La introducción de especies animales causa efectos ecológicos, que en algunos casos son irreparables, pues también existe competencia por recursos limitados, pero además, muchas especies introducidas depredan a las nativas.

Algunas especies animales introducidas en Chile

Especie	Efecto sobre la flora y fauna
Garza bueyera, codorniz, gorrión.	Compiten por el alimento con especies nativas.
Mirlo.	Parasita los nidos de especies nativas.
Jabalí.	Se alimenta de huevos y crías de especies de la fauna nativa.
Rata noruega (guarén), rata negra (pericote) y ratón (laucha).	Depredan sobre aves nativas y sus huevos.
Castor.	Come la corteza de árboles nativos.
Liebre y conejo.	Compiten por alimento con especies de mamíferos nativos, sobrepastorean la vegetación.

Fuente. MINEDUC. Programa de estudio Biología. Segundo año medio. 1999.

Bosque nativo.



Plantación forestal.



Las plantaciones de pino contienen significativamente menos especies de aves que los bosques nativos.

9 Recursos naturales

Los **recursos naturales** son un conjunto de elementos disponibles en el ambiente, que se extraen y utilizan de forma directa o indirecta, como materias primas, en la fabricación de otros productos que satisfacen las necesidades de los seres humanos. En general los recursos naturales se clasifican en dos tipos: aquellos que son **renovables** y los **no renovables**. Los primeros se renuevan en la naturaleza a través de un ciclo, o por medio del proceso reproductivo. La **flora**, la **fauna**, el **suelo** y el **agua** son ejemplos de recursos renovables. Los segundos no tienen la capacidad de recuperarse, es decir, una vez utilizados por el ser humano no vuelven a su estado original. Los **minerales** constituyen recursos no renovables.

Recursos naturales no renovables

Los minerales representan recursos naturales, ya que el ser humano los utiliza en beneficio propio. Son recursos no renovables, pues tienen un tiempo de explotación limitado y podrán ser extraídos hasta que se acaben en el planeta. En general, los minerales se pueden clasificar en dos grupos: los **minerales metálicos**, como, por ejemplo, el cobre, el oro, el hierro, la plata, etc., y los **minerales no metálicos**, como el azufre, el cuarzo, el yeso y el salitre. Existen otros tipos de recursos no renovables utilizados para la obtención de energía llamados **combustibles fósiles**, como el carbón, el gas natural y el petróleo.

Recursos naturales no renovables extraídos en Chile	
Zona norte	Cobre, oro, plata hierro, salitre, yodo, cuarzo, mármol, lapislázuli, entre otros.
Zona central	Cobre, plata, oro, cuarzo, arcilla, talco, yeso.
Zona sur	Carbón, petróleo, gas natural, zinc, oro, plomo y plata.



1. Cuarzo. 2. Oro. 3. Plomo. 4. Arcilla. 5. Lapislázuli. 6. Plata. 7. Yeso.

Recursos naturales renovables

La flora y fauna son recursos renovables. Se entiende por flora y fauna el conjunto de especies vegetales y animales, respectivamente, que habitan una región.

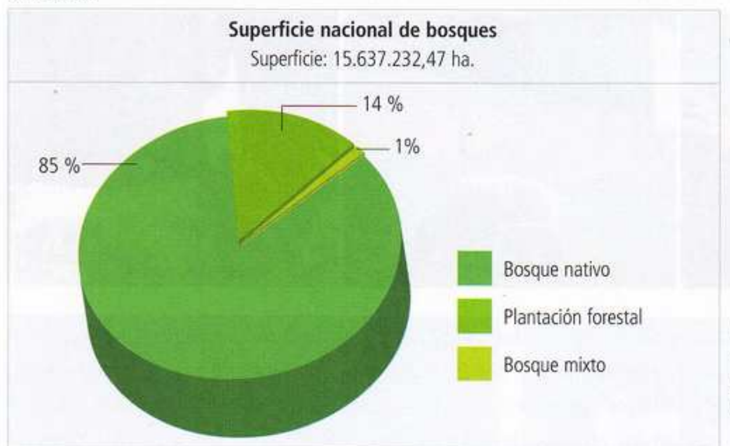
Recurso flora

Este recurso se aprovecha principalmente a través de la **silvicultura** y la **agricultura**.

En la silvicultura se maneja el bosque para la continua producción de bienes y servicios. Del bosque se obtiene madera para leña, madera aserrada o para la producción de celulosa, y otros productos secundarios como frutos, flores, resinas, corchos, aceites y componentes medicinales. El recurso forestal comprende principalmente el **bosque nativo** y las **plantaciones forestales**, constituidas principalmente por **especies exóticas**.



En nuestro país un 83% de las plataciones forestales están compuestas principalmente por pino insigne (*Pinus radiata*).



Fuente: Catastro y evaluación de recursos vegetacionales y nativos de Chile. 1999. CONAMA-CONAF.

La agricultura está relacionada con el cultivo y producción de vegetales, principalmente para la alimentación. Los productos agrícolas pueden ser **productos primarios**: porotos, garbanzos, cebollas, manzanas, peras, ciruelas, duraznos, entre muchos otros, y **productos elaborados**: fruta congelada, en conserva, confitada y deshidratada.



En Chile, la fruta destinada al consumo fresco debe ser sometida a un tratamiento de cuarentena en una planta autorizada y posteriormente certificada por un inspector del Servicio Agrícola Ganadero (SAG).



Recurso fauna

Por lo general, el recurso fauna puede clasificarse en aquella de uso industrial y la de uso artesanal.

La fauna de **uso industrial** está representada fundamentalmente por los recursos hidrobiológicos, **explotados a gran escala** para fines comerciales, por ejemplo: peces para conserva, harina de pescado y moluscos. Otros recursos importantes de uso industrial son el ganado y las aves para consumo masivo. Los productos obtenidos son comercializados en grandes cantidades, tanto dentro como fuera del país.

La fauna de **uso artesanal** son todos los animales cuyo manejo necesita de menor inversión en equipos y está a cargo de pequeños grupos de personas, las cuales utilizan el recurso para **comercio menor**, **consumo** o **abrigo**. Ejemplo de ello son el ganado para la producción a pequeña escala de carne, leche y cuero y las aves de corral para la obtención de carne y huevos para consumo doméstico.

Vacas, gallinas, corderos, llamas y alpacas son algunas especies que el ser humano ha domesticado para obtener alimento y abrigo, para realizar trabajos, o como mascotas.





Además, existe una **fauna útil para la agricultura y la silvicultura** representada principalmente por los **controladores biológicos**, que son especies "enemigas naturales" de otras especies que constituyen plagas, o que dañan los cultivos de leguminosas, hortalizas, frutas y plantaciones de árboles. Ejemplo de esta fauna son las aves rapaces, los mamíferos carnívoros y los insectos. Otro importante grupo de fauna útil son los **polinizadores**, como, por ejemplo, abejas, avispas y algunas aves, que permiten que los organismos de muchas especies vegetales puedan reproducirse.

Algunas especies de insectos pertenecientes a la familia *Coccinellidae*, comúnmente conocidas como chinitas, en estado larval son depredadoras naturales de insectos que causan daño a muchas plantaciones. Debido a esto han sido utilizadas como controladores de plagas agrícolas.

Deterioro de los recursos naturales renovables

Aunque los recursos renovables siempre están presentes en la naturaleza, es posible que sean **afectados por elementos contaminantes** que disminuyen su calidad o que en algunos sectores sean **explotados hasta agotarlos**.

La flora y la fauna forman parte de la biodiversidad, por lo tanto, estos recursos se pueden alterar principalmente a través de acciones que contribuyen a extinguir las especies, como, por ejemplo, la **caza** y la **pesca indiscriminada**, la **sobreexplotación de los bosques**, la **pérdida de ecosistemas**, etc.

La disminución de los animales y vegetales puede afectar negativamente a otros recursos. Las plantas, por ejemplo, contribuyen con la mantención de los suelos, pues ayudan a evitar su erosión. Si aumenta la erosión, **disminuyen los suelos** para el cultivo de vegetales y para el desarrollo de bosques naturales, junto con toda la biodiversidad que ellos albergan. Los principales agentes erosivos son el agua, el viento y el ser humano. El hombre termina con los suelos fundamentalmente por la **contaminación** de estos, la **deforestación** y la alimentación irracional del ganado (**sobrepastoreo**).

Finalmente, para evitar que se agoten los recursos naturales estos **deben ser usados de manera racional** buscando un beneficio que no comprometa la utilidad futura del recurso.

Deterioro del recurso hídrico. El agua de lagos y ríos puede contaminarse hasta extremos que no permitan su utilización y los tratamientos de limpieza sean de muy alto costo.



Descarga de desechos tóxicos.



Planta de depuración de aguas contaminadas.

10 Alteración del medio ambiente

La utilización de los recursos naturales transforma el paisaje. Por ejemplo, la agricultura requiere de la deforestación del terreno para la siembra de plantaciones, convirtiendo el paisaje natural en un paisaje rural. La edificación en las ciudades implica la eliminación de la vegetación y la utilización del suelo para construir viviendas, edificios, industrias, centros comerciales, calles y autopistas, dando origen a los paisajes urbanos.

En los países en vías de desarrollo, como Chile, durante los últimos años la **población urbana** ha ido aumentando progresivamente, mientras que la **población rural** disminuye. Al crecimiento de los centros urbanos se suma el **desarrollo económico** basado en la explotación de los recursos naturales renovables y no renovables. Ambos fenómenos han provocado una ruptura en el equilibrio de los ecosistemas que se traduce en consecuencias negativas para el medio ambiente. Algunas de ellas se describen a continuación:

- **Contaminación atmosférica** asociada a las áreas urbanas, a la industria, a la minería y a la generación eléctrica, representada por emisiones de óxidos de nitrógeno y de azufre, monóxido de carbono y contaminantes peligrosos, como el plomo y el arsénico.
- **Altos índices de contaminación hídrica**, por desechos líquidos domiciliarios e industriales.
- **Escasez de espacios de contacto con la naturaleza**, áreas verdes, de esparcimiento y recreación en muchos centros urbanos.
- **Erosión y degradación de los suelos**, lo que ha afectado la disponibilidad para uso agrícola productivo.
- **Disminución de la abundancia poblacional y del rango geográfico de distribución de numerosas especies silvestres**, debido a su explotación y a la alteración de su hábitat.
- **Problemas de conservación de las especies** que se refleja en la extinción y en el peligro de extinción de especies animales y vegetales.

Algunos problemas ambientales recientes ocurridos en Chile

Conflicto	Efectos
Contaminación por celulosa del río Cruces (Valdivia, IX Región).	Muerte masiva de cisnes de cuello negro.
Contaminación por celulosa del río Mataquito (Iloca, VII Región).	Muerte masiva de la población peces.
Aprobación del proyecto minero Pascua Lama (III Región).	Posible destrucción de glaciares cordilleranos.
Proyectos de construcción de centrales hidroeléctricas en la Patagonia (XI Región).	Posible destrucción del hábitat de distintas especies por inundación del terreno.

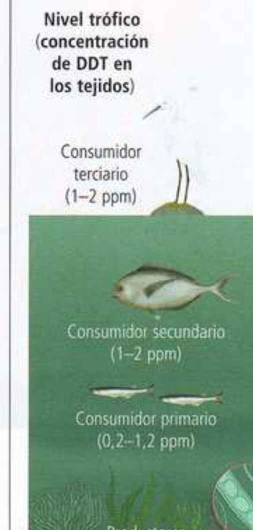
Compuestos químicos tóxicos en el ambiente

El continuo aumento de la población mundial y la necesidad de alimentos que esto implica, ha traído por consecuencia el uso de productos químicos para combatir las plagas que dañan los cultivos. Según su toxicidad, estos pueden ser compuestos inocuos hasta sustancias muy peligrosas para la salud humana y para el ambiente.

Algunos de los compuestos químicos utilizados en la agricultura son los **plaguicidas**, mezclas que previenen, controlan o destruyen plagas. Por lo general, los plaguicidas no son **biodegradables**, lo que significa que tienen una estructura química muy estable que los organismos descomponedores no pueden degradar de manera natural, permaneciendo en el ambiente por bastante tiempo. Un ejemplo de este tipo de sustancias son los **compuestos orgánicos persistentes** (**COP**) que han sido responsables de la contaminación de suelos y aguas. Los COP son sustancias con efectos tóxicos en los organismos, que se acumulan en el ambiente y además son capaces de ser transportados a grandes distancias a través del aire, el agua y por especies migratorias. Uno de los más tóxicos es el plaguicida **DDT**, actualmente prohibido en muchos países, incluyendo Chile.

El DDT puede ingresar al organismo por vía oral, inhalación o por la piel, y se almacena en el tejido adiposo. Su vida media (tiempo requerido para disminuir la concentración inicial a la mitad) es de 3 a 10 años, por lo que un organismo puede llegar a acumular una alta concentración de DDT en sus tejidos, lo que se denomina **bioacumulación**.

Una característica del DDT y de otras sustancias tóxicas bioacumulables que lo hacen perjudicial para los ecosistemas es su tendencia a aumentar su concentración a medida que se transfiere a través de niveles sucesivos en una cadena trófica, fenómeno llamado **amplificación biológica**. Por ejemplo, si un plaguicida, como el DDT, se utiliza sobre un cultivo, parte del plaguicida liberado al ambiente llega a los cuerpos de agua y se acumula en los tejidos de las algas y plantas acuáticas. Los consumidores primarios (herbívoros) ingieren gran cantidad de plantas contaminadas con plaguicidas y lo acumulan en sus tejidos. A su vez, los consumidores secundarios que se alimentan de los herbívoros de esta cadena, ingieren y acumulan en sus tejidos concentraciones de plaguicida que pueden ser hasta un millón de veces superior a la del ambiente.



Amplificación biológica en una comunidad acuática.

Adaptado de: Solomon, Berg y Martin. 2001.

Los árboles y el efecto invernadero. Durante gran parte de su vida los árboles absorben CO_2 en cantidades similares a las que liberan. Incluso se plantea que mientras crecen, liberan más carbono del que absorben. Esto ha llevado a muchos científicos a decir que para prevenir las consecuencias del efecto invernadero, más que plantar nuevos bosques es preferible mantener los antiguos.

Impacto global sobre el ambiente

El efecto invernadero y calentamiento global

De toda la radiación solar que llega a la Tierra solo una pequeña proporción es absorbida por la corteza terrestre, mientras que cerca del 70% es reflejada hacia el espacio. Algunos gases atmosféricos, llamados **gases invernadero**, como, por ejemplo, el **dióxido de carbono (CO_2)** y el **metano (CH_4)**, absorben parte de la energía calórica reflejada por la superficie terrestre y la reirradian a la Tierra, lo cual permite, y ha permitido, que la temperatura de la superficie terrestre sea lo suficientemente cálida para la existencia de la vida en sus diferentes formas, fenómeno que se conoce como **efecto invernadero**. Producto de las emanaciones industriales, del uso excesivo de combustibles fósiles y de la deforestación, ha aumentado de manera signficativa la concentración de CO_2 y de otros gases invernadero, como el **óxido nitroso (NO)**, en la atmósfera, lo que contribuye al **calentamiento global**, el cual consiste en el incremento de la temperatura del planeta.

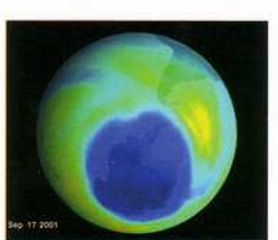
Efecto invernadero.

Energía solar absorbida por la Tierra
Calor reflejado por la superficie terrestre y que sale al espacio
Vapor de agua
Metano
Dióxido de carbono
Calor reirradiado a la Tierra
Superficie de la Tierra

Como consecuencia de la intensificación del efecto invernadero, los científicos dedicados al tema proyectan **cambios climáticos** de gran magnitud, lo que se reflejaría en grandes sequías, olas de calor, lluvias torrenciales, inundaciones, tormentas y derretimiento de los hielos polares. Algunos expertos hipotetizan que el aumento de la temperatura de los océanos produciría la liberación de grandes cantidades de metano desde depósitos de los fondos marinos hasta la atmósfera, razón por la cual el calentamiento global de la Tierra sería aún más rápido.

Destrucción de la capa de ozono

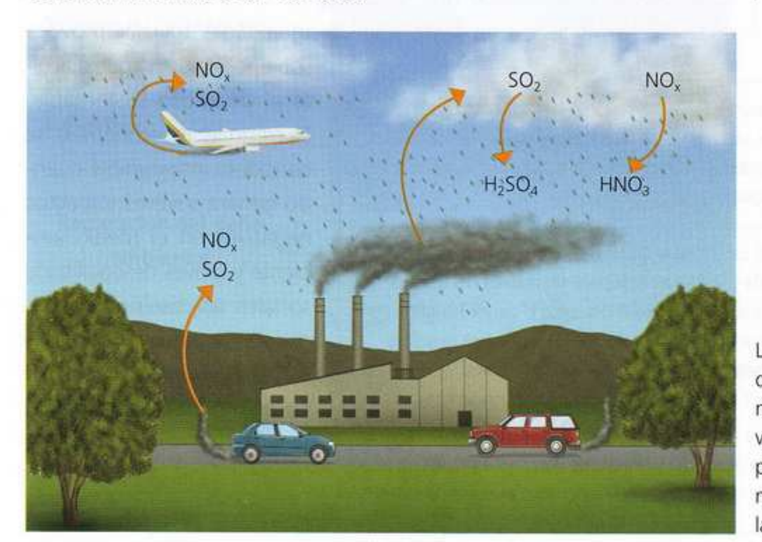
Los gases denominados **clorofluorocarbonos** (CFC) destruyen las moléculas que forman la capa de ozono en la atmósfera, la cual evita que la radiación ultravioleta proveniente del sol ingrese hasta la corteza terrestre. Los CFC han sido liberados a la atmósfera, desde hace más de 50 años, producto de la emanación de algunos tipos de aerosoles y de la acción de ciertos sistemas de refrigeración ambiental, como el aire acondicionado. El daño que provocan los rayos UV en los seres vivos depende del tiempo de exposición a la radiación y de la intensidad de esta. En general puede causar severos probemas de salud, como cáncer a la piel, y también afecta la tasa de fotosíntesis en algas y vegetales terrestres.



Agujero de la capa de ozono sobre la Antártica (en azul).

Lluvia ácida

El dióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) son gases emanados por la quema de combustibles fósiles, principalmente. En la atmósfera, estos gases se acumulan y reaccionan con el oxígeno y el agua formando ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3), respectivamente, los cuales precipitan sobre la corteza terrestre transportados por la lluvia, la niebla o la nieve, lo que se conoce como **lluvia ácida**. Este fenómeno, provoca graves efectos sobre los ecosistemas, entre los que se encuentran: la acidificación del agua y del suelo, la destrucción de la cubierta vegetal, la muerte de organismos acuáticos –incluido el fitoplacton– provocando un desequilibrio en las cadenas alimentarias, y daños en la salud del ser humano.



Lluvia ácida. Cuando el dióxido de azufre y/o los óxidos de nitrógeno se combinan con el vapor de agua atmosférico, se produce ácido sulfúrico y ácido nítrico los cuales precipitan en la lluvia o la nieve.

11 Protección y conservación del ambiente

Como respuesta a los efectos negativos que el ser humano genera sobre el planeta se han desarrollado en Chile y a nivel mundial políticas medioambientales que tienen diferentes objetivos y mecanismos de acción. En términos generales se pueden identificar las siguientes:

- **Políticas de protección y conservación**. Preservan los espacios naturales de alto valor ecológico mediante la creación de zonas de protección, como los parques nacionales.
- **Políticas de prevención**. Establecen controles para las actividades que pudieran provocar importantes daños al ambiente y consideran la realización de estudios de evaluación de impacto medioambiental.
- **Políticas de corrección.** Actúan sobre espacios deteriorados. Proponen la depuración de aguas, el reciclaje de residuos, entre otras medidas.

Desarrollo sustentable

Todas las políticas medioambientales mencionadas anteriormente tienen por objetivo general contribuir con el **desarrollo sustentable**. Esto corresponde a un **proceso de crecimiento económico y social sostenido en el tiempo, fundado en medidas de conservación y protección del ambiente, que responde a las necesidades del presente, sin disminuir la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas**.

Sin embargo, en los países subdesarrollados, a diferencia de los desarrollados, se debe considerar que su población crece a un ritmo mayor que su economía, lo que junto a las desigualdades sociales provoca sobrepoblación, lo que dificulta el desarrollo sustentable. El crecimiento económico se considera insostenible cuando genera severos impactos negativos en el medio ambiente y graves desequilibrios sociales. Así, han surgido propuestas de desarrollo sustentable y alternativas para explotar de modo más racional los recursos.

Preservación	Consiste en el mantenimiento intacto de conjuntos ecológicos dentro de su ambiente, con propósitos científicos, estéticos y educacionales. En zonas preservadas está prohibida la explotación forestal, la caza, las prácticas agropecuarias, mineras o industriales.
Conservación	Corresponde al uso racional de los recursos naturales, es decir, de forma moderada y sustentable. Supone un manejo científico de las áreas naturales, de tal forma que produzca el mayor beneficio para las actuales generaciones, pero no olvidando que ese beneficio también lo tienen que tener las futuras generaciones.
Protección	Corresponde a la defensa de una especie o del conjunto de especies de flora y fauna dentro de su ambiente natural. La protección se realiza contra el o los factores que amenacen el equilibrio natural.

Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente

Un paso importante en la implementación de la política ambiental chilena fue la **Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente**, promulgada en marzo de 1994. Esta ley sienta las bases para una gestión ambiental eficiente, y establece criterios institucionales que comprometen las acciones del Estado, del sector privado y de la ciudadanía. Dicha ley establece: *el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.*

En forma general, los contenidos de esta ley son los siguientes:

Disposiciones generales

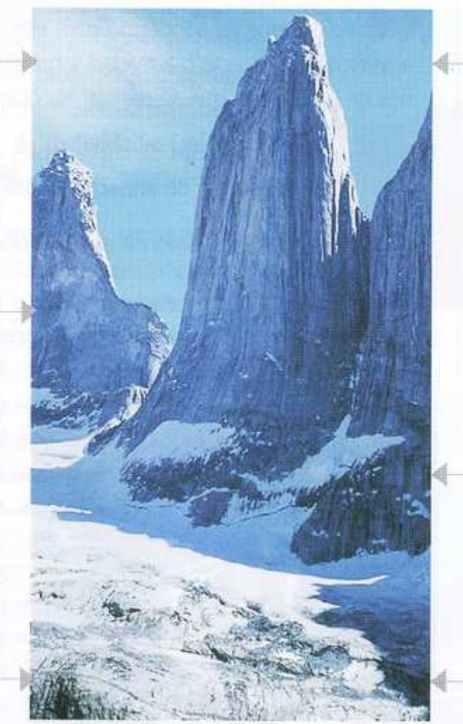
Obligación del Estado de promover la participación ciudadana en la protección del medio ambiente.

CONAMA

Organización e institucionalidad ambiental. La Corporación Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) tiene la misión de integrar y coordinar las temáticas ambientales.

Reparación del daño ambiental

Obligación de reparar el daño causado al medio ambiente y sanciones para quienes no cumplan con los planes de prevención y descontaminación.



Parque Nacional Torres del Paine.

Fiscalización

Todos los organismos del Estado que participan del sistema de evaluación de impacto ambiental, deben participar en la fiscalización que permitió la aprobación de dicho estudio de impacto. Las municipalidades son receptoras de las quejas y denuncias de los ciudadanos que deben ser remitidas al organismo fiscalizador.

Protección ambiental

Objetivo de fondo: preservar, proteger y reparar el medio ambiente, a través del financiamiento de proyectos.

Gestión ambiental

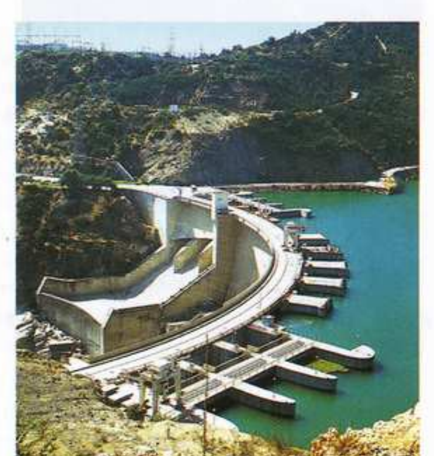
Se favorece la prevención por sobre la reparación de los daños al medio ambiente.

Evaluación de Impacto Ambiental

La ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente establece el **Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental** (**SEIA**) como un instrumento para prevenir el deterioro del ambiente producto de proyectos o actividades que se realicen en nuestro país. El SEIA considera los siguientes aspectos:

1. Una descripción del proyecto o actividad.
2. La línea de base. (Descripción completa de todo el medio ambiente antes de ser intervenido).
3. Una descripción pormenorizada de aquellas características o circunstancias que dan origen a la necesidad de efectuar un estudio de impacto ambiental.
4. Una predicción y evaluación del impacto ambiental del proyecto o actividad, incluidas las eventuales situaciones de riesgo.
5. Las medidas que se adoptarán para eliminar o minimizar los efectos adversos del proyecto o actividad sobre el medio ambiente y las acciones de reparación que se realizarán, cuando ello sea procedente.
6. Un plan de seguimiento de las variables ambientales relevantes que dan origen al estudio de impacto ambiental.
7. Un plan de cumplimiento de la legislación ambiental aplicable.

Si el proyecto en el cual está enmarcado el estudio de impacto ambiental, abarca más de una región, entonces la CONAMA debe calificarlo ambientalmente, de lo contrario, el proyecto es calificado por la respectiva Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA). Dicha calificación se expresa en un documento que se denomina Resolución de Calificación Ambiental.



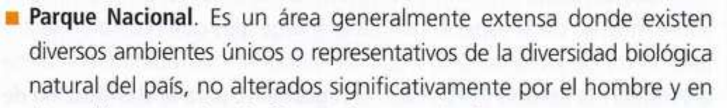
La evaluación de impacto ambiental se basa en la necesidad de disminuir al máximo el daño al ambiente y a la diversidad de especies producto de la intervención humana.

Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas



Parque Nacional Puyehue. Osorno.

Desde 1984, Chile cuenta con un **Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado** (**SNASPE**). Estas áreas son ambientes naturales, terrestres o acuáticos, que el Estado protege y maneja para lograr los objetivos de conservación y preservación de la naturaleza. Comprende todas las unidades declaradas **Parque Nacional**, **Reserva Nacional** y **Monumento Natural**, administradas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), que depende del Ministerio de Agricultura. En la actualidad, la superficie total de áreas protegidas en nuestro país alcanza unas 14 millones de hectáreas (alrededor del 19% del territorio nacional).



- **Parque Nacional**. Es un área generalmente extensa donde existen diversos ambientes únicos o representativos de la diversidad biológica natural del país, no alterados significativamente por el hombre y en el cual las especies de flora y fauna o las formaciones geológicas son de especial interés educativo, científico o recreativo. Los objetivos de los parques nacionales son la **preservación** del ambiente protegido; la **continuidad de los procesos evolutivos**, y mientras sea compatible con lo anterior, la **realización de actividades de educación, investigación** o **recreación**.



Reserva Nacional Río Clarillo. Pirque.

- **Reserva Nacional**. Es un área cuyos recursos naturales es necesario conservar y utilizar con especial cuidado, por la suceptibilidad de estos a sufrir degradación o por su importancia en el bienestar de la comunidad. Son objetivos de las reservas nacionales la **conservación** y **protección** del recurso suelo y de las especies de flora y fauna amenazadas, la **mantención** o **mejoramiento de la producción hídrica**, y el **desarrollo** y **aplicación de tecnologías de aprovechamiento racional de la flora y la fauna**.

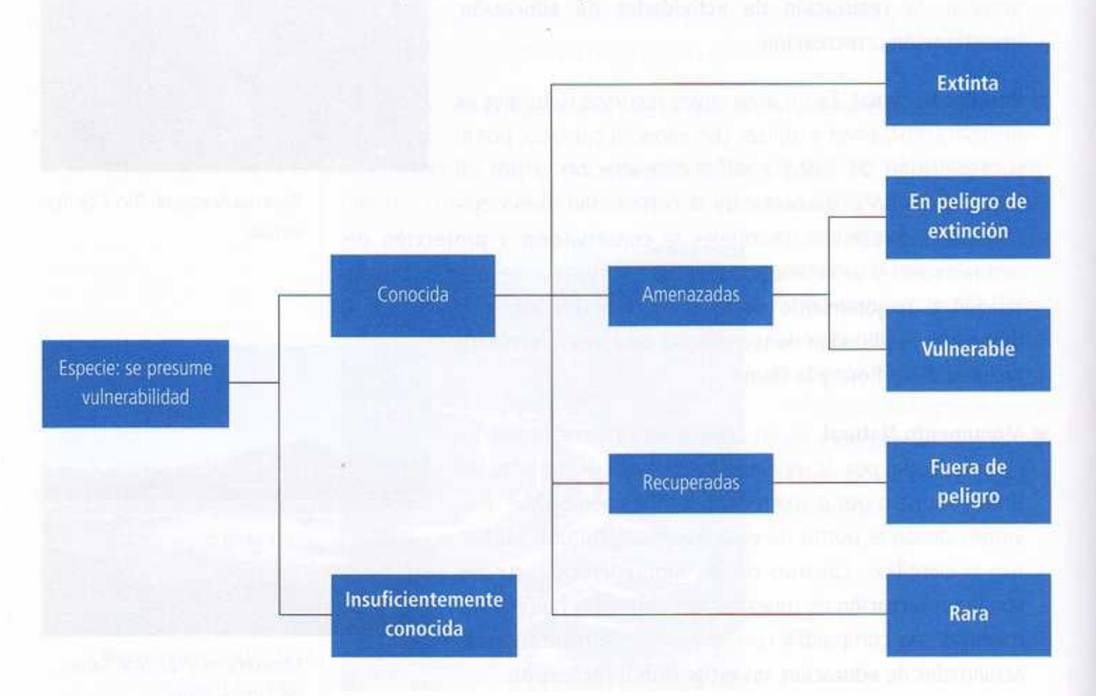
- **Monumento Natural**. Es un área generalmente reducida, caracterizada por la presencia de especies nativas de flora y fauna o por la existencia de sitios geológicos relevantes desde el punto de vista escénico, cultural, educativo o científico. Objetivo de los monumentos naturales son la **preservación** de muestras de ambientes naturales y, mientras sea compatible con lo anterior, la **realización de actividades de educación, investigación** o **recreación**.



Monumento Natural Salar de Surire. Putre.

Especies amenazadas en Chile

Las barreras naturales que presenta nuestro país en los distintos puntos cardinales (Oeste, el océano; Norte, el desierto; Este, la cordillera y Sur, el frío mar austral cercano a la Antártica) han propiciado el desarrollo de un alto número de especies endémicas. La constante depredación de algunos organismos y más aún, la destrucción de los ecosistemas donde estos habitan, los han llevado al borde de la extinción. De las 166 especies de cactáceas que existen en Chile, 124 son endémicas, y muchas de ellas se encuentran en un estado de amenazadas, debido a daños provocados por el hombre dentro de sus ecosistemas. Además, es poca la información que se tiene sobre estas plantas y sobre muchas otras especies animales y vegetales que habitan nuestro país. El 03 de junio del año 2004, el Ministerio Secretaría General de la Presidencia aprobó y promulgó **el reglamento para la clasificación de las especies** en torno a la vulnerabilidad de estas. Dicho reglamento tiene como **objetivo evaluar el estado de conservación de la flora y fauna silvestre**, con el fin de identificar las especies más vulnerables y aunar esfuerzos para evitar su extinción. Para construir esta clasificación, se utilizan los siguientes criterios:



Categorías de clasificación

- **Insuficientemente conocida**. Aunque existan presunciones fundadas de riesgo, no hay información suficiente para asignarla a otra categoría de clasificación.
- **Extinta**. Después de búsquedas exhaustivas en sus hábitats conocidos y/o esperados, efectuadas en las oportunidades apropiadas y en su área de distribución histórica, no se ha detectado algún individuo en estado silvestre.
- **En peligro de extinción**. La especie enfrenta un riesgo extremo de extinción; se ha reducido entre un 50 y un 90% el número de individuos que componen la población.
- **Vulnerable**. Enfrenta riesgo de extinción, pero inferior a "en peligro de extinción".
- **Rara**. Sus poblaciones ocupan un área geográfica pequeña, o están restringidas a un hábitat muy específico que es escaso en la naturaleza. También se considerará rara aquella especie que en forma natural presenta muy bajas densidades poblacionales, aunque ocupe un área geográfica mayor.
- **Fuera de peligro**. Aunque en algún momento haya estado incluida en alguna de las categorías señaladas anteriormente, en la actualidad se la considera relativamente segura por la adopción de medidas efectivas de conservación o porque la amenaza que existía ha cesado.



Toromiro (*Sophora toromiro*). Especie extinta.



Michay rojo (*Berberidopsis corallina*). Especie en peligro de extinción.



Llareta (*Azorella compacta*). Especie vulnerable.



Pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*). Especie vulnerable.



Loro tricahue (*Cyanoliseus patagonus*). Especie en peligro de extinción.

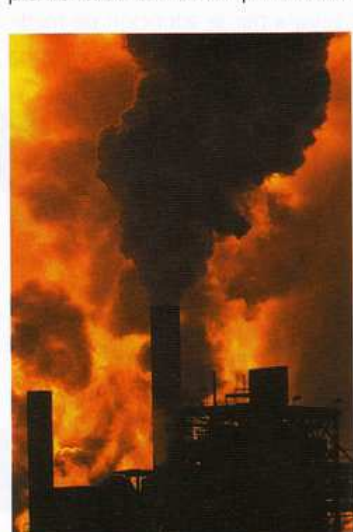
Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINCA). Es un sistema gubernamental que entrega una visión general de la calidad del aire en las distintas regiones del país. Esta información se entrega a todo el público en la página web: http://sinca.conama.cl/chile/index2.html.

Políticas de corrección frente a la contaminación en Chile

Contaminación atmosférica

Chile, al igual que muchos países en vías de desarrollo, ha aumentado con los años la cantidad de emanaciones contaminantes que libera a la atmósfera. El crecimiento de la industria y el aumento de la urbanización han hecho que la calidad del aire disminuya afectando finalmente a la población. Santiago se encuentra entre las capitales más contaminadas del mundo y existe una tendencia a empeorar dichos índices de contaminación. Sus principales agentes contaminantes son: el **polvo** que se levanta producto del movimiento vehicular en las calles y las **emanaciones** de automóviles, microbuses, calderas y hornos industriales. Aun así, el problema no es solo de la capital, ya que importantes fuentes contaminantes se encuentran en otras zonas del país, tales como las fundiciones de cobre, plantas de celulosa y de harina de pescado, estas últimas grandes consumidoras de combustible.

Para evitar el aumento de la contaminación atmosférica, nuestro país ha desarrollado un **sistema de normas de calidad del aire**. Dicha norma se promulgó en el año 1978 y establece la cantidad de partículas contaminantes que una fábrica puede expulsar al ambiente en un período determinado de tiempo. A través de los años esta norma ha sido complementada con otras que buscan resguardar y proteger la salud de las personas. Entre los principales contaminantes atmosféricos que dañan la salud y son monitoreados constantemente están: dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO, NO_2, NO_3), ozono (O_3), hidrocarburos y partículas en suspensión.



La actividad industrial es una de las principales fuentes de contaminación.

Contaminación hídrica

La alta tasa de crecimiento demográfico, sumado a la proliferación del sector industrial, han acarreado consecuencias negativas para los recursos hídricos del país. Las descargas de origen doméstico e industrial (fábricas de celulosa, papel, pesqueras, mineras y agrícolas) son los principales contaminantes de las aguas dulces y saladas del país. Como una forma de evitar que el desarrollo afecte la calidad del recurso hídrico, se han tomado diversas medidas de protección que colocan a Chile a la cabeza de este ámbito en Latinoamérica.

En el año 1999, en el país se trataba solo el 20% de las aguas servidas. Actualmente, y gracias a la construcción de nuevas plantas de tratamiento, se trata el 78% de las aguas servidas domésticas. Para el año 2009 debería aumentar al 97.5%. Con estas medidas, se pretende que el crecimiento urbano y demográfico tenga un menor grado de incidencia en la contaminación hídrica.

Actualmente se trabaja en la elaboración de normas de protección de las aguas que apuntan a preservar y explotar de forma sustentable los principales cuerpos de agua dulce de nuestro país, es decir, los ríos y lagos. Además, a toda nueva industria se le exige tratar y controlar sus residuos antes de desecharlos.

Tratamiento de aguas servidas en la Región Metropolitana

Se ha considerado la construcción y puesta en marcha de 13 plantas de tratamiento de aguas servidas en Santiago. Entre estas se destacan El Trebal y La Farfana, las cuales descontaminan las aguas de la cuenca del río Mapocho, que equivalen a más del 70% de las aguas servidas de la capital. Para el año 2009, se espera que no solo la cuenca del Mapocho esté totalmente tratada, sino que con la implementación de otras plantas de saneamiento más pequeñas, también las aguas provenientes de la cuenca del Maipo sean descontaminadas.



Planta de tratamiento *La Farfana* SERNAC.

SINRESIDUOS. Corresponde al Sistema Nacional de Información de Residuos Sólidos. Busca informar sobre el estado y manejo de los residuos sólidos en el país, de manera actualizada y constante, a través de un seguimiento región por región. La dirección del portal en Internet es http://www.retc.cl/sinresiduos/recwebpg2/index.php.

Contaminación de los suelos

En Chile, la contaminación de los suelos está ligada principalmente a actividades que tienen una gran importancia en la producción y crecimiento nacional, como la minería y la agricultura.

Por una parte, la **actividad minera** modifica el paisaje debido a la explotación de yacimientos y, en algunos casos, vierte desechos de los procesos de extracción de minerales en los suelos.

Los contaminantes que son producto de la **actividad agrícola** también producen un impacto negativo en los suelos. Aunque en Chile el relieve forma una barrera natural contra el ingreso de plagas, esto contribuye a una menor utilización de plaguicidas, comparado con otros países; los residuos de estas sustancias químicas son una importante fuente de contaminación del suelo.

Finalmente, los **residuos domiciliarios** (provenientes de los hogares) deben ser tratados y almacenados en lugares donde no colapsen y contaminen los suelos aledaños. Actualmente en nuestro país el 60% de los residuos domiciliarios son dispuestos en **rellenos sanitarios**, lugares que cumplen con garantías sanitarias y ambientales mucho más exigentes que las de los vertederos y basurales.

Desde enero del año 2005 en nuestro país existe la política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, que tiene como objetivo normar la manera en que son manejados los residuos tanto domiciliarios como no domiciliarios. En paralelo se ha desarrollado el Proyecto Gestión de Residuos Peligrosos en Chile, que busca lograr la cooperación entre las industrias y el gobierno en el tratamiento de sus desechos.



El desafío actual para disminuir el impacto que tienen en los suelos los desechos domiciliarios e industriales es el reciclaje, ya que en nuestro país solo un 5% de los residuos domiciliarios son reciclados. Actualmente en Chile se reciclan el papel, el cartón, las latas de aluminio, los vidrios y la chatarra.

Acuerdos internacionales firmados por Chile

Nuestro país ha concurrido a la firma y ratificación, y en ocasiones ha participado en la generación de numerosos instrumentos internacionales vinculados con el medio ambiente. Por ejemplo:

- **Convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático**, que intenta evitar y disminuir los daños en el planeta provocados por la acción humana (efecto invernadero, calentamiento global, etc.).
- **Convención sobre la diversidad biológica**, que propone una estrategia nacional para la conservación de la biodiversidad y el uso sustentable de los recursos biológicos.
- El **convenio de Viena** y **protocolo de Montreal**, que promueven el control del uso de las sustancias agotadoras de la capa de ozono.
- **Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de flora y fauna silvestres** (**CITES**), que impide la comercialización de especies protegidas.
- El **protocolo de Kioto**, firmado en 1997 por la mayoría de los estados que forman parte de las Naciones Unidas, que acordó la disminución de los gases invernadero en un 5,2%, por parte de los países industrializados.
- El **Convenio de Estocolmo** sobre Compuestos Orgánicos Persistentes altamente tóxicos, que fue acordado en el año 2001, debido a la urgente necesidad de llevar a cabo una acción global conjunta para proteger la salud humana y el ambiente, eliminando el uso y reduciendo las emisiones no intencionales de estos compuestos.



Uso de sustancias que destruyen la capa de ozono.



Uso de compuestos orgánicos persistentes (COP).



Calentamiento global.

12 Interacciones entre organismos

Los seres vivos no viven aislados en la naturaleza, sino que comparten el ambiente con otros organismos. Esto posibilita que desarrollen interacciones con organismos de su misma especie y también con seres vivos pertenecientes a otras especies. Así, las interacciones pueden ser de dos tipos: **interacciones intraespecíficas** e **interacciones interespecíficas**, las cuales tradicionalmente han sido analizadas en un contexto ecológico, y también evolutivo.

Interacciones interespecíficas

Las interacciones que se establecen entre organismos de diferentes especies pueden tener **efectos "positivos"** (**beneficiosos**) o **efectos "negativos"** (perjudiciales) en los individuos o en las poblaciones de cada especie. Por convención, si el efecto sobre un organismo (o una población) es perjudicial se designa con un signo –, y si es beneficioso, con un signo +. Cuando un individuo (o una población) no es afectado por la acción de otro, esta interacción se designa con un 0.

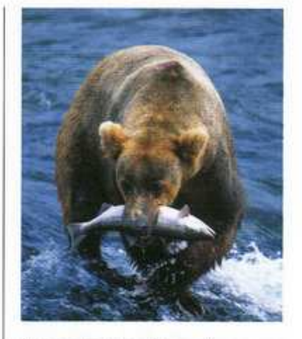
Las interacciones mutuamente beneficiosas se representan con dos signos positivos (+, +) y las interacciones mutuamente perjudiciales se designan con dos signos negativos (–,–). Las interacciones cuyos efectos son beneficiosos para un organismo (o población) y perjudiciales para el otro organismo (o población) se representan con un signo positivo y otro negativo (+,–). También existen interacciones cuyos efectos son beneficiosos para un organismo (o población) y neutras para el otro organismo (o población). Estas interacciones se representan con un signo positivo y un 0 (+,0).

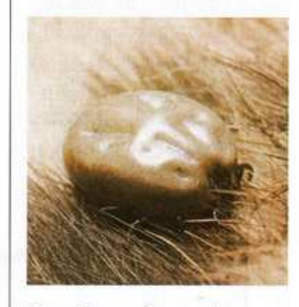

Una bandada de flamencos corresponde a una interacción intraespecífica.


Leones y su presa, un ejemplo de interacción interespecífica.

Tabla resumen de las principales interacciones que se establecen entre organismos de distintas especies

Interacción	Descripción	Efecto (especie 1/ especie 2)
Depredación	Las presas son los seres perjudicados y los depredadores los beneficiados.	(–,+).
Herbivoría	Los organismos productores (vegetales o algas) son perjudicados y los animales herbívoros se benefician.	(–,+).
Parasitismo	El organismo parásito provoca un serio daño en el hospedero.	(+,–).
Competencia	Los dos organismos (o poblaciones) que compiten por un recurso se ven perjudicados.	(–,–).
Mutualismo	Dos organismos de especies distintas conviven obteniendo beneficio mutuo. Ninguno podría vivir solo.	(+,+).
Protocooperación	La interacción entre dos organismos es de beneficio mutuo pero no indispensable para sobrevivir.	(+,+).
Comensalismo	Los comensales se benefician de otros organismos que no se ven beneficiados ni perjudicados por esta relación.	(+,0).


Depredación. Oso gris y su presa, un pez.


Parasitismo. Garrapata (*Ixodes hexagonus*), parásito que se alimenta de la sangre de numerosos mamíferos.


Protocooperación. Búfalo de la sabana africana y aves que se posan sobre su lomo para alimentarse de los insectos que habitan en su piel.

13 Depredación

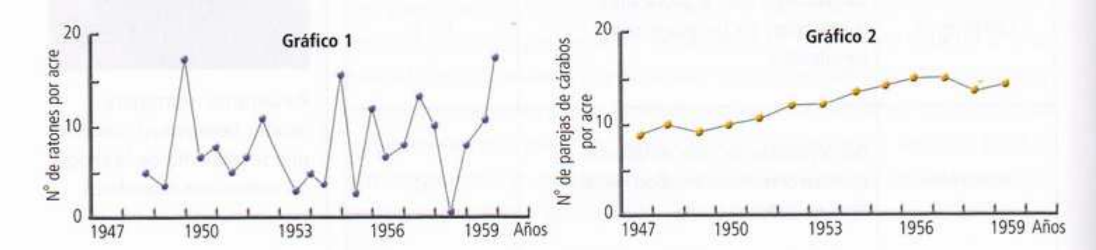
Esta interacción se produce cuando un organismo de una especie (**depredador**) se alimenta de un organismo de otra especie (**presa**), lo cual implica la muerte del ser vivo que sirve de alimento al otro. En un sentido más amplio, se ha incluido dentro de la depredación la interacción que se establece entre un animal herbívoro que se alimenta de estructuras de un vegetal. Sin embargo, la depredación "típica" es aquella en que un animal carnívoro se alimenta de otros animales, que pueden ser carnívoros o herbívoros.

Dinámica poblacional entre depredador y presa

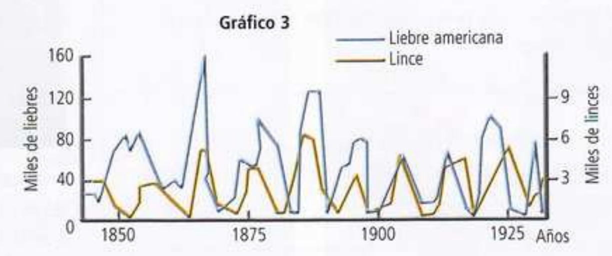
Desde una perspectiva ecológica, la depredación incide en la abundancia de los organismos que forman parte de una población. En la dinámica que se desarrolla entre las poblaciones de depredadores y presas pueden presentarse, básicamente, dos situaciones:

1. **Mantención relativamente constante de la abundancia poblacional de los depredadores**, a pesar de las fluctuaciones de la abundancia poblacional de la presa, ya que los depredadores consumen presas alternativas cuando su presa principal escasea.

En un estudio realizado en una población de cárabos (una especie de ave), localizada en una región de Inglaterra, se pudo establecer que la población de aves se mantuvo estable (gráfico 2) a pesar de las grandes fluctuaciones en la abundancia de los pequeños roedores que constituían su presa fundamental (gráfico 1).



2. **Oscilaciones acopladas de la abundancia poblacional de los depredadores y sus presas.**



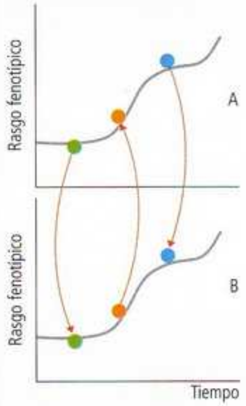
De acuerdo con un estudio efectuado en Canadá, el ciclo de abundancia del lince canadiense (depredador) se relaciona con el de la liebre americana (presa), aunque con un cierto "retraso" temporal. Sin embargo, se ha observado que las liebres presentan un ciclo similar en ausencia de linces, en otras regiones de Canadá, lo que sugiere que su abundancia depende de otros factores.

Depredación y evolución

En el transcurso de la evolución, tanto en los depredadores como en las presas, se han seleccionado rasgos heredables que aumentan la sobrevivencia y la reproducción de los organismos, bajo ciertas condiciones ambientales. Estos rasgos corresponden a **adaptaciones** que pueden ser morfológicas, fisiológicas o conductuales; a su vez, favorecen el mejoramiento de la eficiencia del depredador para encontrar, capturar y comer a su presa, así como permiten a las presas evitar ser encontradas, capturadas y consumidas.

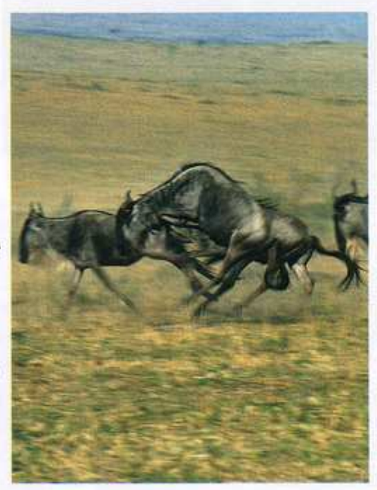
Los depredadores y las presas no solo han evolucionado, sino que algunas especies han **coevolucionado**. Según esta idea, ante la presión de los depredadores, las presas han desarrollado, por selección natural, ciertas respuestas adaptativas. De la misma manera, los depredadores han desarrollado atributos adaptativos que les permiten superar estas defensas. El resultado es lo que se ha denominado "**carrera armamentista**" entre el depredador y la presa. Así, cada progreso de la capacidad depredadora va seguido de un progreso de la capacidad de la presa para evitar o defenderse del depredador. Este progreso de la presa va seguido por un nuevo progreso en la capacidad del depredador.

El planteamiento de la "carrera armamentista" aún está siendo estudiado y no explica, necesariamente, todas las interacciones depredador–presa.



Modelo de coevolución depredador–presa. Un rasgo del fenotipo del depredador (A) constituye una presión de selección en la presa (B). En ella el rasgo evoluciona, por selección natural, y constituye una presión selectiva para el depredador, y así sucesivamente.

Estrategias antidepredatorias. Una de las ventajas de la vida en grupo, es la de reducir los efectos negativos de la depredación. Por ejemplo, y como consecuencia de la cercanía de varios individuos, la vigilancia colectiva aumenta, lo que, a su vez, incrementa la habilidad de los individuos del grupo para detectar un posible depredador. En algunas especies, la agrupación es más eficiente en repeler agresivamente a un determinado depredador. Además, si el depredador se dispone a atacar, los animales pueden huir en muchas direcciones, confundiendo así al depredador.



La herbivoría se diferencia de la depredación típica o "verdadera", pues en esta última, el depredador mata a la presa de manera más o menos inmediata y la consume parcial o totalmente.

El **efecto que produce la acción de un herbívoro sobre un vegetal puede ser compensado de distintas maneras**. Por ejemplo, la eliminación de hojas de un árbol cuando son consumidas por un animal, puede reducir el sombreado sobre otras hojas de la misma planta y aumentar en estas su tasa fotosintética. **Los vegetales pueden disponer de diferentes mecanismos para contrarrestar los efectos del herbivorismo**; uno de ellos es la redistribución de los productos de la fotosíntesis hacia los tejidos atacados.

La herbivoría también puede detener el crecimiento en algunas plantas e influir sobre la fecundidad de estas. Uno de los efectos más comunes del ataque de un herbívoro es el retraso de la floración, lo cual puede hacer disminuir la polinización, dentro de una estación. El herbívoro puede ocasionar la muerte del vegetal, lo que constituye uno de los casos más extremos de herbivorismo.



La compensación perfecta de los vegetales frente a la acción de los herbívoros es inusual, por lo que las plantas suelen quedar dañadas por estos consumidores.



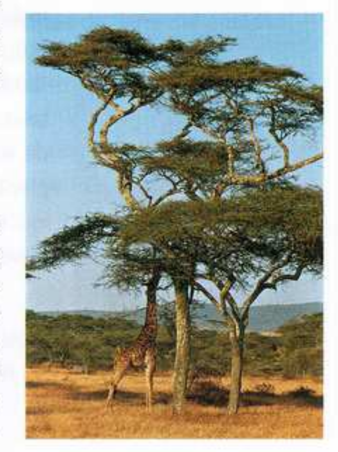
Las cabras, los ratones silvestres y las ardillas, pueden descortezar los árboles de los cuales se alimentan, desgarrando y separando los tejidos conductores del vegetal con lo cual se interrumpe la conexión y el abastecimiento de hidratos de carbono entre las hojas y las raíces. De esta manera, algunas poblaciones de herbívoros pueden matar a los árboles jóvenes, a pesar de que solo consumen una parte de sus tejidos.

Herbivoría y evolución

Las plantas contrarrestan la acción de los herbívoros a través de adaptaciones de diverso tipo. Por ejemplo, por medio de **defensas morfológicas**, como las espinas y las superficies cubiertas de pequeños "pelitos", denominados tricomas, que dificultan el movimiento de los insectos. También pueden defenderse mediante **defensas químicas**, conocidas como **sustancias químicas secundarias**, las cuales son subproductos de las vías metabólicas primarias de algunas especies vegetales. Un ejemplo de ellos son los **alcaloides**, como la nicotina de las plantas de tabaco y la cafeína de las plantas de café.

Las sustancias químicas secundarias son dañinas para muchos herbívoros. Sin embargo, en ciertas especies han evolucionado mecanismos que evitan las defensas de las plantas, como las enzimas que vuelven "no tóxicos" los productos químicos vegetales. Incluso, ciertas especies de insectos utilizan las sustancias secundarias de los vegetales en beneficio propio. Estos y otros antecedentes han sido estudiados por muchos científicos que proponen el proceso de **coevolución** para explicar algunas de las interacciones que se establecen entre la planta y el animal herbívoro.

De acuerdo con los científicos que proponen coevolución entre plantas y herbívoros, algunas especies de vegetales han adquirido, por selección natural, un "arsenal" de defensas químicas que las hacen poco apetitosas para la mayoría de los herbívoros. Sin embargo, siempre existen algunos organismos capaces de adaptarse a estas defensas químicas, de tal manera que se han especializado en esta especie de planta o en pocas especies muy emparentadas. Mientras la coevolución ocurra, en las especies vegetales evolucionan nuevos "armamentos de defensa" y en los herbívoros nuevos "armamentos de ataque".



Cuando los individuos de ciertas especies de plantas desarrollan, a través del proceso de selección natural, nuevas sustancias químicas que les sirven de defensa contra los herbívoros, estos, a su vez, desarrollan nuevos mecanismos de desintoxicación como respuesta adaptativa a la presión ejercida por las plantas.

15 Parasitismo

El parasitismo es una interacción que se establece entre un organismo, denominado **parásito**, que durante toda su vida obtiene los nutrientes de otro individuo al cual le provoca un daño, pero sin causarle la muerte, por lo menos a corto plazo. El organismo del cual se alimenta el parásito se denomina **hospedero**. El parásito puede vivir a expensas de unos pocos individuos hospederos a lo largo de su vida. Por lo tanto, existe una estrecha asociación entre el parásito y su hospedero.

Tipos de parásitos


Pulga común. Ectoparásito que vive sobre la piel de aves y mamíferos.

Tradicionalmente, los parásitos han sido clasificados en **ectoparásitos** (viven sobre su hospedero) y **endoparásitos** (viven dentro de su hospedero). Insectos como los piojos y las pulgas; y arácnidos como las garrapatas, son ejemplos de parásitos externos. Ciertas especies de gusanos, como las tenias (lombriz solitaria) y los áscaris, son ejemplos de parásitos internos.

Ascaris sp. Endoparásito que se aloja en el intestino del ser humano.

Existe otra categorización más reciente de los parásitos: los microparásitos y los macroparásitos. Los **microparásitos** son aquellos que se multiplican dentro del hospedero, a menudo dentro de sus células. Algunos ejemplos de microparásitos son especies de bacterias, protozoos y hongos que afectan, principalmente, a los animales; aunque los hongos y las bacterias también atacan, pero en menor medida, a especies vegetales. En cambio, los **macroparásitos** viven en las cavidades corporales y crecen dentro de su hospedero, pero tienen un ciclo de vida que incluye "fases" que ocurren fuera del hospedero, y donde infectan a otros organismos. También los macroparásitos pueden vivir sobre su hospedero. Entre los principales macroparásitos de los animales se encuentran las tenias, los piojos, las pulgas y ciertas especies de hongos. También existen macroparásitos de vegetales, como algunas especies de hongos y de insectos, e incluso ciertas especies de plantas que obtienen agua y nutrientes de los vegetales que parasitan, a través de conexiones entre los tejidos.


Fasciola hepática. Macroparásito que infecta el hígado de mamíferos.

Parasitoidismo

Algunos biólogos consideran el parasitoidismo como una forma de parasitismo y, en consecuencia, a los **parasitoides** como un tipo de parásito. Los adultos de estas especies son de "vida libre", es decir, no viven como parásitos de otros organismos. Sin embargo, los estados inmaduros (larvas o pupas) se desarrollan en el interior del organismo de otras especies. Las hembras de la especie parasitoide ponen sus huevos dentro, sobre o cerca de otros individuos, a menudo de otras especies de insectos. La larva que eclosiona del huevo se desarrolla en el interior o sobre el hospedero, y con el tiempo lo consume casi por completo, causándole, inevitablemente, la muerte.



Los parasitoides habitualmente son especies de insectos. Por ejemplo, algunas especies de himenópteros, como el de la fotografía, son parasitoides de los pulgones.

Parasitismo y evolución

Un resultado de la evolución de la interacción parásito–hospedero parece ser el **desarrollo de una mayor resistencia en los organismos hospederos o una disminución de la capacidad de daño del parásito**.

Es probable que se seleccionen los hospederos con mayor grado de resistencia al ataque de los parásitos y que tengan mayor éxito reproductivo que los que tienen menor resistencia al parásito. Esto último determinaría que los parásitos con mayor capacidad de daño tengan menor oportunidad de reproducción y de dispersión a otros hospederos. Por lo tanto, se irán seleccionando los parásitos con menor capacidad de dañar al hospedero.

Algunos investigadores postulan que algunas interacciones de parasitismo podrían explicarse a través de un proceso de **coevolución** entre el parásito y el hospedero.

16 Competencia

En términos generales, la competencia se produce **cuando dos o más organismos (o poblaciones) utilizan un mismo recurso, el cual es limitado (escaso)**, de manera que ambos se ven perjudicados en esta interacción. Por ejemplo, puede disminuir su supervivencia, su crecimiento y su reproducción.

Tipos de competencia

La competencia puede ocurrir entre organismos de la misma especie o de especies diferentes. La competencia, intra e interespecífica, puede desarrollarse de dos maneras:

- **Competencia por explotación**. En este caso, los organismos competidores **no interaccionan directamente** unos con otros. Es decir, los organismos que compiten por un recurso no se ven directamente afectados por la presencia de otros organismos, sino por la reducción del recurso o por la creciente dificultad para encontrarlo que ha ocasionado el organismo que encontró antes el recurso.



Los individuos de una población de pudúes, por ejemplo, deben encontrar el alimento para poder consumirlo. Si otra población (de la misma o de otra especie) encuentra antes los vegetales y deja solo restos, los pudúes deberán buscar otros sitios de explotación, lo que significa un mayor gasto de energía y mayor riesgo de ser depredados.

- **Competencia por interferencia**. En este caso, la competencia se desarrolla de forma directa, es decir, cuando un individuo que busca un recurso, daña a otro en el proceso, o limita el acceso a dicho recurso.



Los animales que protegen su territorio, como los zorros, a menudo dejan señales que advierten de su presencia, denominadas marcas territoriales, como aquellas realizadas con orina. Si otro animal invade el territorio, puede ocurrir un encuentro agresivo entre ambos organismos. En este caso, el territorio es el recurso por el cual compiten los organismos. Sin embargo, esto implica, además, la utilización de otros recursos que se hallan en él, como agua, alimentos, etcétera.

Intensidad de la competencia interespecífica

La competencia, por lo general, es más intensa entre organismos de especies emparentadas. Frecuentemente, estas especies son muy parecidas y tienen necesidades similares, ya que su **nicho ecológico**, es decir, su modo de vida incluyendo el hábitat, los recursos que consume y la manera en que lo hace, es parecido. Sin embargo, la competencia puede ser intensa entre organismos de especies que no están muy emparentadas y que difieren en muchos aspectos, pero que se han especializado en la utilización del mismo recurso.

Muchas investigaciones han revelado la existencia de mecanismos que presentan los organismos de especies diferentes, que viven en una misma área geográfica, para reducir la intensidad de la competencia. Entre estos mecanismos están: la **utilización diferencial del ambiente** (los organismos ocupan zonas diferentes), la **diferenciación en el consumo de alimento** (como no todos los recursos alimenticios son los mismos, los organismos consumen alimentos diferentes), y la **diferenciación temporal de la actividad** (por ejemplo, existen animales que son activos de día y otros de noche).

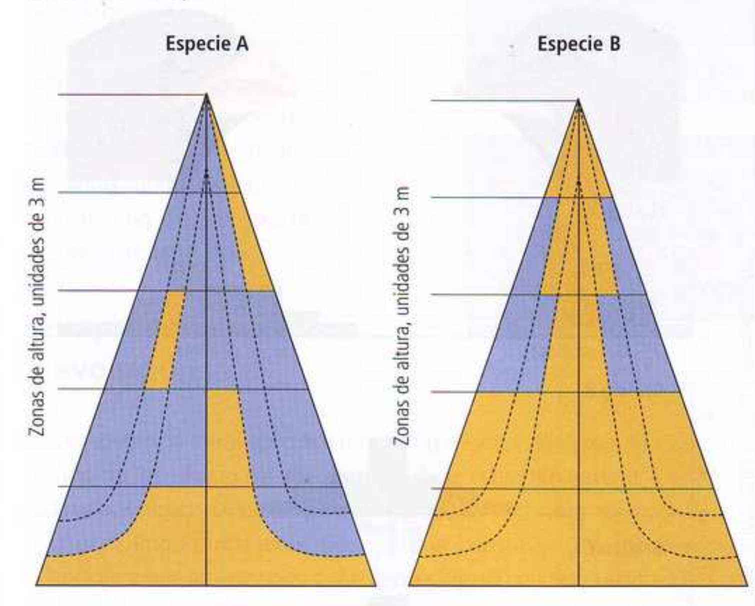
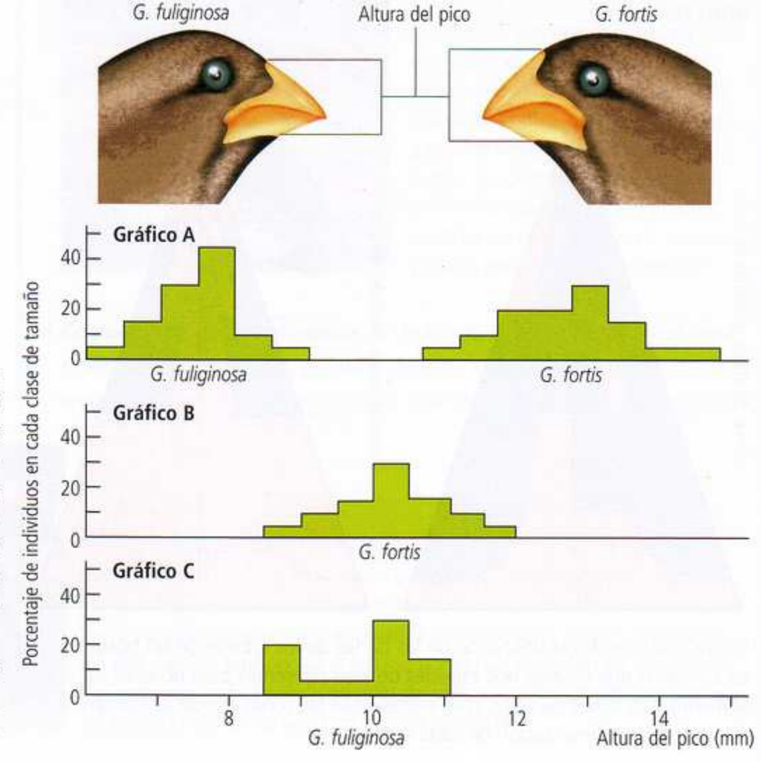


Figura que muestra la utilización de las partes de los árboles de un bosque de coníferas que ocupan dos especies de aves diferentes para obtener su alimento. Las zonas de color azul, representan las zonas donde se concentra la actividad de alimentación de cada especie.

Un fenómeno resultante de la competencia, que reduce su intensidad, es el **desplazamiento de caracteres**: cuando los miembros de más de una especie utilizan el mismo recurso escaso, es decir, existe un solapamiento de nichos en cuanto a la explotación del recurso en cuestión, la selección natural puede dar como resultado la divergencia en los rasgos de las especies que compiten.

Un ejemplo de desplazamiento de caracteres es el de dos especies de pinzones de Darwin que habitan en las islas del archipiélago de las Galapágos: *Geospiza fulginosa* y *Geospiza fortis*.

Cuando ambas especies viven en la misma isla, presentan una notoria diferencia en la altura de su pico, lo que les permite alimentarse de distintos tipos de semillas. En este caso *G. fortis* posee un pico de mayor altura que *G. fulginosa*, por lo que puede romper y comer semillas de tamaño mediano, mientras que *G. fulginosa* se alimenta de semillas más pequeñas. En cambio, cuando estas dos especies viven en islas separadas, la altura de su pico, en promedio, es similar, lo que podría deberse a la ausencia de competencia.



El tamaño del pico difiere entre dos especies de pinzones que viven juntas en una isla (gráfico A). En cambio, las mismas especies pero que viven en islas separadas tienden a presentar el mismo tamaño (gráficos B y C).

Adaptado de: Solomon, Berg y Martin. Biología. 2001.

Efectos de la competencia

El biólogo ruso G. F. Gause, en 1934, realizó en su laboratorio numerosos experimentos utilizando organismos de dos especies de protozoos. De acuerdo a sus resultados, y a investigaciones posteriores, Gause formuló el principio de **exclusión competitiva**, según el cual dos especies no pueden tener el mismo nicho ecológico. Cuando los nichos entre dos especies se superponen, es decir, son muy parecidos, la competencia que se desarrolla entre ambas es muy intensa lo que puede determinar el **desplazamiento** o **extinción** de una de ellas.

Las excepciones que se han encontrado al principio de exclusión competitiva se pueden explicar argumentando que las dos especies, si bien compiten por el mismo recurso, no ocupan exactamente el mismo nicho, o que estos pueden diferir de algún modo que los científicos no han descubierto. También se ha planteado que los organismos de dos especies competidoras pueden **coexistir** utilizando el hábitat de algún modo distinto, por lo tanto, no ocupan exactamente el mismo nicho.

Densidad de población relativa

A: 100, 50 — *P. aurelia* solo

B: 100, 50 — *P. caudatum* solo

C: 100, 50, 0 — *P. aurelia* en cultivo mixto; *P. caudatum* en cultivo mixto

3 6 9 12 15 18 Días

Resultados obtenidos por Gause, utilizando dos especies de protozoos en cultivos monoespecíficos (una sola especie), A y B y en cultivos mixtos (ambas especies), C.

Competencia y evolución

La competencia intraespecífica (entre organismos de la misma especie) es uno de los principales **mecanismos de la selección natural**. La competencia interespecífica (entre organismos de diferente especie) tiene una gran importancia evolutiva, ya que constituye una presión de selección sobre las especies coexistentes, que da como resultado una divergencia morfológica y una diferenciación en los nichos, lo que puede llevar al **desplazamiento de caracteres**.

Interacciones con efecto positivo

Mutualismo



El liquen es una asociación mutualista entre un alga y un hongo.

En el mutualismo, **dos organismos (o poblaciones) presentan una asociación obligatoria**, (ninguno puede existir sin el otro) la cual les brinda beneficio mutuo. Por ejemplo, las termitas no pueden digerir la celulosa de la madera pues carecen de las enzimas necesarias, pero en sus intestinos poseen protozoos que posibilitan la digestión de esta sustancia. Otra asociación mutualista son los líquenes, formados por un alga y un hongo. El alga cede al hongo parte de los nutrientes que fabrica en la fotosíntesis, pero necesita protección y humedad que consigue gracias a las hifas del hongo, las cuales, a modo de red, retienen el rocío que pueda quedar encima de una roca, por ejemplo.

Protocooperación



Las mariposas y las plantas de las que obtienen néctar forman una asociación protocooperativa.

La protocooperación es una interacción en la cual **dos organismos (o poblaciones) se benefician mutuamente, pero la interacción no es condición esencial para la sobrevivencia de ambos**. En general, estas interacciones se establecen entre ciertas especies de plantas y organismos polinizadores, y entre plantas y organismos dispersadores de semillas. Otro ejemplo de protocooperación es la relación entre las aves que suelen capturar insectos sobre los pelos de vacas y caballos, desparasitándolos, o los pájaros limpiadores de la boca de los cocodrilos.

Comensalismo



Esta interacción se produce cuando un **organismo (o población) se beneficia pero el otro no resulta afectado**. Un ejemplo de esta interacción se establece entre plantas epífitas (que crecen encima de otra planta) y algunos árboles. En este caso, las plantas epífitas obtienen, gracias al lugar donde se fijan, la luz necesaria para fotosintetizar (no obtienen agua ni nutrientes del árbol).

El quintral es una planta nativa epífita, vive sobre los álamos, los quiscos y otras especies vegetales de nuestro país.

Evolución de las interacciones con efecto positivo

Existen algunos investigadores que consideran que ciertas interacciones mutualistas, entre individuos de la misma especie, habrían dado origen a uno de los comportamientos más interesantes que muestran ciertas especies de insectos: el **comportamiento eusocial**. Esta teoría postula que las colonias de ciertas especies de insectos se habrían originado por selección de aquellos atributos sociales que son mutuamente benéficos para los individuos. El beneficio estaría dado, principalmente, por la defensa contra depredadores y parásitos que brinda la agrupación de individuos. Parte de las estrategias antidepredatorias son la vigilancia por parte de uno o algunos individuos, o el ataque grupal en contra de "intrusos".

Polinización, dispersión de semillas y evolución

Los animales que consumen polen y néctar suelen transportar el polen de una flor a otra mientras recorren las plantas para alimentarse, contribuyendo así a la polinización. Este beneficio habría posibilitado la estrecha relación existente entre las plantas con flores y las diversas especies de abejas, a través de la **evolución de rasgos que posibiliten la atracción de los polinizadores**, como, por ejemplo, la del néctar producido por las flores y los aromas que facilitan su detección.



Los colores llamativos, el néctar y los aromas producidos por la flor son rasgos que han evolucionado para atraer insectos polinizadores.

Los animales que se alimentan de frutos (frugívoros) eliminan las semillas junto con las heces fecales, lo que facilita la dispersión de las semillas. Esto determina que las semillas se distribuyan en un área mayor, con lo cual pueden tener más posibilidades de germinación si son depositadas en un ambiente adecuado. En **las especies vegetales habrían evolucionado mecanismos de atracción de dispersadores de semillas**, como, por ejemplo, los colores llamativos de los frutos en conjunto con su alto contenido energético.



En las angiospermas el fruto otorga protección a la semilla y además atrae animales que la dispersan.

18 Crecimiento de las poblaciones







En condiciones favorables, una población de organismos comenzará a aumentar de tamaño, por lo menos durante cierto tiempo. En cambio, en una población cuyo medio sea, o se transforme en desfavorable, el crecimiento no será tan evidente y, probablemente, tienda a disminuir su tamaño.

Los ecólogos han elaborado una ecuación matemática básica, que se utiliza como modelo para representar la **tasa de crecimiento** (r) de una población, donde r es igual a la tasa de natalidad (b) menos la tasa de mortalidad (d). Esta ecuación se representa así:

$$r = b - d$$

Es necesario considerar la **inmigración** y la **emigración** para calcular de manera más exacta, aunque igualmente básica, la tasa de crecimiento de poblaciones locales. Así, r es igual al valor de la tasa de natalidad (b) menos la tasa de mortalidad (d), más el valor de la inmigración (i) menos la emigración (e). Esta ecuación se representa así:

$$r = (b - d) + (i - e)$$



Parámetros poblacionales

- **Natalidad**. Parámetro en función del tiempo que incluye procesos como el nacimiento, la germinación y la eclosión, entre otros. Existen dos aspectos relacionados con la natalidad: la fertilidad, que es el nivel real de reproducción en una población, basada en el número de descendientes vivos; y la fecundidad, que corresponde a un nivel potencial de reproducción, vinculado con la capacidad de producir gametos funcionales, especialmente femeninos.
- **Mortalidad**. La mortalidad corresponde a los individuos de una población que mueren en un período de tiempo determinado.
- **Migraciones**. Dependiendo del punto de referencia, existen dos tipos de migración, o desplazamiento de los organismos desde una región a otra: la inmigración, que se produce cuando llegan individuos a una población, provenientes de otra; y la emigración, que ocurre cuando los organismos abandonan una población en un período de tiempo determinado.

Modelos de crecimiento poblacional

Si se grafica el aumento del número de individuos de una población, en función del tiempo, la curva puede tener dos formas que representan el patrón de crecimiento de la población. Así, pueden distinguirse dos formas básicas de crecimiento poblacional. El modelo más simple se denomina **crecimiento exponencial** y se describe con la siguiente ecuación:

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

donde *r* es la tasa de crecimiento per cápita, N es el número de individuos de la población en cualquier momento y dN/dt es el cambio en el número de individuos a lo largo del tiempo. Aunque r permanezca constante, la tasa de crecimiento se incrementa si el tamaño de la población aumenta.

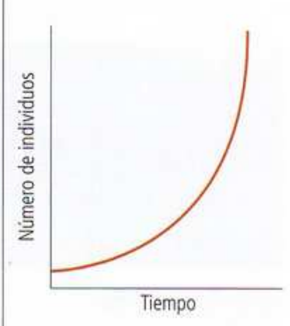
En muchas poblaciones, el número de individuos no está determinado por el potencial reproductivo, sino por el ambiente, para lo cual se ha elaborado un modelo más complejo que el anterior, pero uno de los más simples y frecuentes observados en la naturaleza: el modelo de **crecimiento logístico** representado por la siguiente ecuación:

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(\frac{K - N}{K}\right)$$

En esta ecuación, K representa la **capacidad de carga**, o tamaño de la población más grande que puede soportar el ambiente, durante un tiempo indefinido.

A diferencia de la curva de crecimiento exponencial, el crecimiento logístico se hace gradualmente más lento a medida que la población se aproxima a la capacidad de carga. Finalmente la población se estabiliza cerca de la capacidad de carga o en ella. De esta manera, el gráfico que describe el crecimiento logístico presenta una curva en forma de S.

Curva de crecimiento exponencial



Representación gráfica del modelo de crecimiento exponencial.

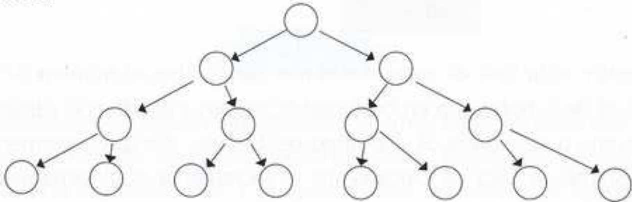
Curva de crecimiento logístico



Representación gráfica del modelo de crecimiento logístico.

Crecimiento exponencial

En una población con patrón de crecimiento exponencial, su **tasa de crecimiento es constante**: a mayor tamaño de la población, mayor es su rapidez de crecimiento. Por ejemplo, si una bacteria se reproduce cada veinte minutos, a los cuarenta minutos habrá 4 bacterias, en una hora habrá 8, en dos horas habrá 64, en tres horas 512, y en diez horas más de 1.000 millones de bacterias. Esto ocurre cuando la población se encuentra en condiciones ambientales óptimas, es decir, con recursos ilimitados.



Esquema del crecimiento exponencial en bacterias.

Se ha demostrado, bajo condiciones experimentales, que ciertas especies presentan un patrón de crecimiento exponencial, pero durante un período corto de tiempo. Esto se debe a que el ambiente impone límites que, en conjunto, se denominan **resistencia ambiental**. Si las condiciones empeoran, la tasa de mortalidad puede exceder a la de natalidad y el tamaño poblacional disminuirá. De esta manera, el tamaño de una población es controlado, entre otros factores, por la capacidad del ambiente para sostener dicha población.





Las restricciones ambientales de un lugar están relacionadas con factores abióticos, como el tipo de suelo, la temperatura, la humedad y la intensidad lumínica, y con factores bióticos, como la disponibilidad de recursos alimenticios.

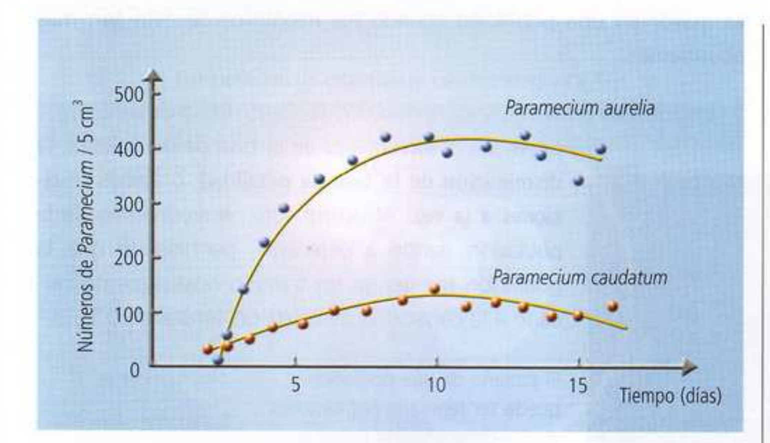
Crecimiento logístico

Si el tamaño de una población, que es controlado por la resistencia ambiental, se grafica en un período de tiempo prolongado, la curva de crecimiento tendrá forma de S (sigmoidal). Al interpretar esta curva, se aprecia que al comienzo la población se multiplica con lentitud, luego con rapidez y nuevamente lo hace en forma lenta, debido al aumento de la resistencia ambiental. En un período más extenso de tiempo, la rapidez de crecimiento disminuye hasta valores cercanos a cero. Este equilibrio se produce cuando el ambiente llega a los límites de su capacidad para "sostener" la población. El límite superior de la curva representa la máxima **capacidad de carga (K)**.

El ecólogo ruso Gause estudió el crecimiento de dos poblaciones de paramecios (*Paramecium caudatum* y *Paramecium aurelia*) de similar tamaño, incubadas a 26 °C. Gause, cada día agregaba una cantidad constante de bacterias que servían de alimento a las poblaciones que se encontraban en un tubo con 5 cm^3 de una solución salina que tenía un pH 8, que impedía la reproducción de las bacterias. Los cultivos se lavaban cada dos días con una solución salina que eliminaba los desechos. De esta manera, Gause mantenía un ambiente constante en un espacio limitado. El patrón de crecimiento de las poblaciones de paramecios, obtenido por este ecólogo, se ajustaba muy bien a la curva sigmoidea.







Resultados obtenidos en el experimento realizado por Gause.

La capacidad de carga de una población es mayor en un ambiente productivo como un bosque o una pradera (A) que un ambiente poco productivo, como el desierto (B).

Factores que regulan el crecimiento de las poblaciones

Existen diferentes factores que pueden influir en el crecimiento de las poblaciones, los que se han clasificado en dos grupos: los **independientes de la densidad** (o denso-independientes) y los **dependientes de la densidad** (denso-dependientes) de las poblaciones.



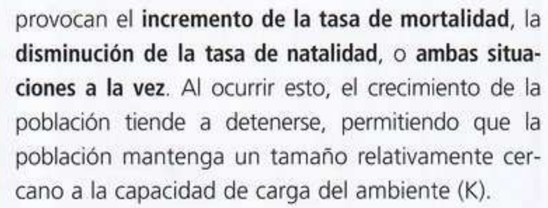
Los desastres naturales como terremotos o huracanes corresponden a factores denso-independientes.

Factores independientes de la densidad

Si la proporción de organismos de una población que se ve afectada por un factor determinado no varía con la densidad de esta, se trata de un factor independiente de la densidad de la población. Los **factores climáticos** en general, como las inundaciones, los huracanes, las sequías, e incluso los incendios, tienen como resultado, a menudo, una **mortalidad que no depende de la densidad** y que reduce el tamaño de la población.

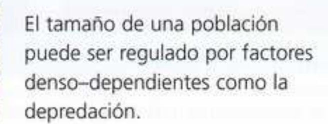
Factores dependientes de la densidad

Si la proporción de individuos que se ve afectada por un factor determinado varía con la densidad, se trata de un factor dependiente de la densidad de la población. Los factores dependientes de la densidad son la **competencia**, la **depredación** y las **enfermedades infecciosas**, entre otros. Por ejemplo, los depredadores pueden encontrar con mayor facilidad una presa cuando la densidad de la población es mayor. Por otro lado, la probabilidad de contagio de alguna enfermedad infecciosa es mayor en una población cuando los miembros de esta son más abundantes.



A medida que aumenta la densidad, los factores denso-dependientes provocan el **incremento de la tasa de mortalidad**, la **disminución de la tasa de natalidad**, o **ambas situaciones a la vez**. Al ocurrir esto, el crecimiento de la población tiende a detenerse, permitiendo que la población mantenga un tamaño relativamente cercano a la capacidad de carga del ambiente (K).





El tamaño de una población puede ser regulado por factores denso–dependientes como la depredación.

Estrategias reproductivas y crecimiento poblacional

En ambientes que presentan condiciones muy variables o irregulares, generalmente operan factores independientes de la densidad de la población, que regulan el tamaño de esta. Bajo tales condiciones ambientales, las poblaciones frecuentemente son poco densas y, en consecuencia, la competencia no es tan intensa. Por esto, las poblaciones presentan estrategias de reproducción que consisten, a menudo, en producir muchos descendientes en poco tiempo, ya que como existe poca competencia, los individuos de la progenie pueden sobrevivir incluso si son muy pequeños y, por lo tanto, son "menos costosos de producir", bajo un punto de vista energético. Esta estrategia se ha denominado **estrategia r** debido a que los organismos que la presentan tienen **una elevada tasa de crecimiento poblacional** (**r**).

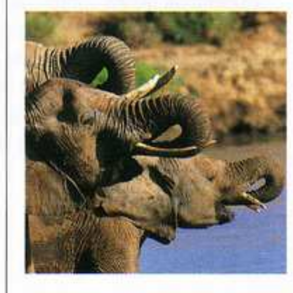
En los ambientes más regulares o estables, generalmente las densidades de la población fluctúan menos, con lo que se ven favorecidos los organismos que son más capaces de enfrentar la fuerte competencia intraespecífica, que se genera por las altas densidades. Bajo estas condiciones, muchas especies presentan la **estrategia K**, que consiste en dedicar más energía a la competencia y a producir descendientes con mejores capacidades competitivas, lo que requiere que sean de mayor tamaño y, por lo tanto, energéticamente más "costosos". Esto determina una menor cantidad de descendientes. Las especies que manifiestan este tipo de estrategia tienen pocas crías, pero invierten mucha energía en su desarrollo, antes del nacimiento, y en su protección, una vez que han nacido.



Conejo. Organismo con estrategia r.

Comparación de organismos con estrategia r y K

Características	Estrategia r	Estrategia K
Descendencia	Mucha	Poca
Inversión en el cuidado de la cría	Baja	Alta
Longevidad	Corta	Larga
Reproducción	Temprana	Tardía
Tamaño corporal	Pequeño	Grande
Tamaño poblacional	Variable	Estable
Competencia intraespecífica	Débil	Intensa



Elefante. Organismo con estrategia K.

Parámetros poblacionales de la especie humana

Crecimiento

La tasa de **crecimiento global** de la población humana ha aumentado de manera exponencial, debido a un gran **descenso en la tasa de mortalidad**. Este descenso se debe a diversos factores, entre ellos, la mayor producción de alimento, gracias al desarrollo de la agricultura y el avance de las ciencias en general, que ha permitido mejorar la salud de las personas y elevar los niveles de sanidad.

Se calcula que el mayor incremento de la población, durante el presente siglo, ocurrirá en países en vías de desarrollo. A partir de otros cálculos, se estima una lenta disminución en la tasa de crecimiento de la población mundial, hasta que alcance un crecimiento igual a 0 (r = 0), es decir, un estado en el que la tasa de natalidad sea igual a la de mortalidad. Sin embargo, las proyecciones no son absolutas, ya que las cifras del tamaño poblacional global de estabilización, y del tiempo en que ocurrirá, pueden sufrir variaciones que dependen del comportamiento de las personas y de muchas decisiones que toman los estados.

Crecimiento poblacional de países desarrollados y en vías de desarrollo.
Los países desarrollados, como Estados Unidos, Canadá, Francia y Japón, tienen tasas de crecimiento poblacional bajas, a diferencia de las naciones en vías de desarrollo, como los países sudamericanos y de África. Esto se debe principalmente a diferencias culturales relacionadas con la educación y el control de la natalidad: un mayor nivel de educación y de información, como el de los países desarrollados, posibilita un mayor control de la natalidad. Por otro lado, las expectativas de vida al nacer son menores en los países de menor desarrollo, los que tienen, además, mayores tasas de mortalidad infantil. En muchos de estos países la cobertura de las necesidades básicas (salud y alimentación) aún es deficiente.





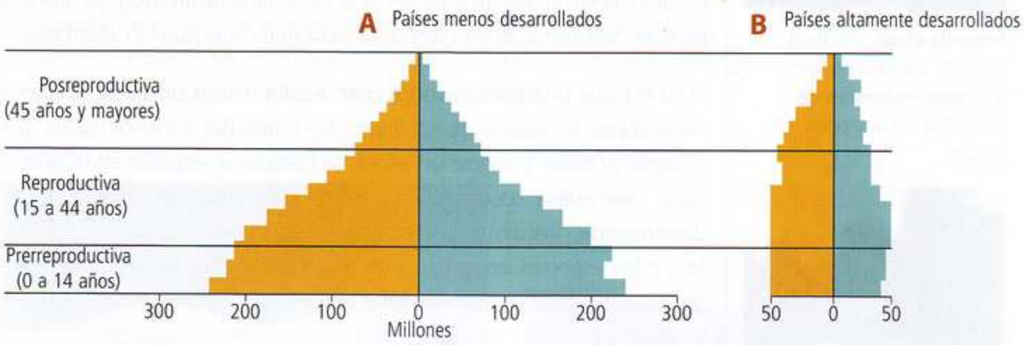
Composición etaria

La composición etaria corresponde a **la distribución de edades** de los individuos de una población. Habitualmente, una población que crece con rapidez contiene una alta cantidad de individuos jóvenes (en edad prerreproductiva y reproductiva; en cambio, una población que disminuye su tasa de crecimiento tiene una alta cantidad de individuos de mayor edad (etapa posreproductiva).

En general, los individuos de la población humana presentan un rango de **edad prerreproductiva** (hasta los 14 años), **reproductiva** (entre los 15 y los 44 años) y **posreproductiva** (más de 45 años), bastante similar, por lo menos en la actualidad. Los países poco desarrollados tienen mayor proporción de jóvenes (edades prerreproductivas) que los países altamente desarrollados, lo que permite proyectar un menor crecimiento poblacional de estos últimos.

Los rangos de edades pueden representarse gráficamente en **diagramas de estructura de edades**. Estos diagramas se dividen horizontal y verticalmente, para representar los grupos de edad y sexo, respectivamente. El ancho de los diagramas, en cualquier nivel, es proporcional al tamaño de la población en ese rango específico de edad.





Estructura etaria en países en vías de desarrollo (A) y desarrollados (B) .

Supervivencia

Los patrones de supervivencia o mortalidad, de poblaciones de cualquier especie, pueden ser graficados y representados a través de tres tipos básicos de curvas de supervivencia: una, en la que la mortalidad de los organismos es máxima en edades avanzadas (tipo I); como la población humana, en términos globales; otra, en la que la mortalidad se distribuye uniformemente en todos los grupos de edad (tipo II), y aquella que es máxima en edades tempranas (tipo III).

20 Sucesión ecológica



Primera etapa. Instalación de líquenes y plantas herbáceas, gramíneas y leguminosas anuales. Pequeños artrópodos (crustáceos e insectos).

Las poblaciones de especies diferentes que se encuentran juntas en el espacio y en el tiempo constituyen una **comunidad**.

Una comunidad no surge de manera repentina, sino que se desarrolla de manera gradual. Este desarrollo implica la sustitución de especies, lo que quiere decir que, en una etapa inicial de la formación de una comunidad, llegan ciertas **especies colonizadoras** que son remplazadas en el tiempo por otras, las cuales también pueden ser sustituidas, posteriormente, por otras. Este fenómeno de remplazo de especies a través del tiempo es parte de la **sucesión ecológica**.

Se denomina sucesión ecológica al conjunto de cambios unidireccionales y ordenados (en muchos casos predecibles), que ocurren dentro de una comunidad dada, y que culminan en un estado maduro o **clímax** (equilibrio). Numerosos estudios han demostrado que las sucesiones ecológicas comienzan con la llegada de especies vegetales de corta vida (gramíneas), que poseen poca biomasa y tienen altas tasas de reproducción. Estas especies luego son remplazadas por otras especies fotosintéticas (arbustos y árboles), las que poseen mayor biomasa y menor tasa reproductiva. Así, un área determinada es colonizada por especies vegetales cada vez más complejas, y a medida que los vegetales cambian, los animales que ahí habitan también lo hacen. A este modelo de remplazo de especies se le denomina **facilitación**, ya que una especie crea condiciones favorables para que otras puedan asentarse.



Segunda etapa. Prolifera el pasto y aparecen los primeros matorrales de pequeño porte y poca altura.

Si se estudia una comunidad a gran escala, como un bosque, puede reconocerse un estado de equilibrio. Sin embargo, a menor escala, por ejemplo al morir y caerse un árbol, se genera un espacio en el que se inicia una nueva sucesión. Para describir la sucesión de una región determinada, frecuentemente se adoptan, como organismos referentes, a las especies vegetales. Sin embargo, existen especies de otros grupos taxonómicos que son característicos de las diferentes etapas de la sucesión.



Tercera etapa. Con el paso de los años la diversidad va en aumento. Crecen matorrales de gran porte y se inicia la colonización de especies arbóreas.



Cuarta etapa. Se instalan árboles de variadas especies; existe una gran riqueza, tanto de flora como de fauna. La comunidad ha alcanzado su clímax.

Tipos de sucesión ecológica

Existen dos tipos de sucesiones ecológicas: una **sucesión primaria** que ocurre con el poblamiento de una zona que nunca antes había sido habitada (como la tierra desnuda luego de un deshielo de un glaciar o la lava que se enfría después de salir desde la profundidad de la Tierra), y una **sucesión secundaria**, la que ocurre en una zona que previamente ha sido habitada y que sufre algún tipo de daño o perturbación, como un incendio o una inundación.

Desde el punto de vista evolutivo, se han propuesto dos posibles **estrategias que podrían aumentar la eficacia de un organismo en una sucesión**. Debido a las presiones selectivas de competencia, la especie desarrolla características que le permiten subsistir más tiempo en la sucesión, lo cual corresponde a lo que se ha denominado **selección K**. Alternativamente, existen especies que desarrollan mecanismos más eficaces para colonizar etapas tempranas de la sucesión sin que permanezcan mucho tiempo en ella, lo cual se ha denominado **selección r**. Si los organismos de las primeras fases en la sucesión no pueden persistir en competencia con los organismos de las etapas posteriores, deben crecer y consumir rápidamente los recursos disponibles. De esta manera, dichos colonizadores son aquellos que presentan estrategia r.

Es importante considerar que hay investigadores que plantean que los organismos no son totalmente estrategas r o estrategas K, sino que alcanzan determinados niveles entre ambos extremos.

Sucesión primaria.



Colonización de suelo luego del deshielo de un glaciar.

Sucesión secundaria.



Regeneración del bosque luego de un incendio forestal.

Ejercicios

1. **¿En cuál de los siguientes procesos de la fotosíntesis la molécula de clorofila cede electrones a una molécula aceptora?**

   A. Ciclo de Calvin.
   B. Transporte de electrones.
   C. Síntesis de glucosa.
   D. Síntesis de ATP.
   E. Fase dependiente de energía lumínica.

2. **En relación a la fotosíntesis, es correcto señalar que:**

   I. el ciclo de Calvin es el proceso en el cual se sintetiza glucosa a partir de una molécula de CO_2.
   II. la formación de NADPH en la cadena de transporte de electrones necesita la hidrólisis de una molécula de agua.
   III. el oxígeno se libera en las reacciones que ocurren en el ciclo de Calvin.
   IV. los procesos de síntesis de NAPDH y ATP ocurren en la membrana tilacoidal.

   A. Solo I
   B. I y II
   C. II y IV
   D. III y IV
   E. I, II y III

3. **Entre los diferentes factores que se relacionan con la tasa fotosintética se encuentra la concentración atmosférica de gases. Al respecto se puede señalar correctamente que la fotosíntesis de un organismo vegetal aumenta cuando:**

   A. los estomas se encuentran cerrados.
   B. ocurre el proceso de fotorrespiración.
   C. la concentración de O_2 es mayor que la de CO_2.
   D. la concentración de CO_2 en los cloroplastos es alta.
   E. las células vegetales se encuentran a altas temperaturas.

4. **Se marcan los carbonos del anhídrido carbónico (CO_2) consumido por una planta durante el día. Entre los compuestos formados por la planta, ¿cuál puede(n) aparecer marcados?**

   I. Glucosa.
   II. Almidón.
   III. Sacarosa.

   A. Solo I
   B. Solo II
   C. I y II
   D. II y III
   E. I, II y III

5. **¿Por qué razón se considera a los seres vivos como sistemas termodinámicamente abiertos?**

   A. Por sus altas demandas energéticas.
   B. Por su constante intercambio de materia y energía con el medio.
   C. Por el alto valor energético de su biomasa.
   D. Por la capacidad de transferir energía de un ser vivo a otro.
   E. Por la gran cantidad de organismos autótrofos que existen.

6. **¿Qué se entiende por productividad primaria bruta?**

   A. La biomasa que fotosintetizan los productores.
   B. La energía solar que se ocupa en la fotosíntesis.
   C. La medida de la tasa de asimilación de energía por los productores.
   D. La biomasa que se traspasa entre los diferentes organismos de una cadena alimentaria.
   E. La energía que utilizan los consumidores primarios y secundarios.

7. **¿En qué lugar de la Tierra existen comunidades de seres vivos que obtienen su energía de fuentes distintas a la luz solar?**

   A. Fosas marinas.
   B. Rocas ígneas.
   C. Casquetes polares.
   D. Superficie de un lago.
   E. Ciudades contaminadas.

8. **¿Cuál de las siguientes afirmaciones referidas a una trama alimentaria es correcta?**

   A. Es equivalente a una cadena alimentaria.
   B. No se consideran los descomponedores.
   C. El número de especies de productores debe ser menor a la de consumidores.
   D. Una especie determinada puede ocupar más de un nivel trófico.
   E. Ocurre una transferencia de materia y energía desde los consumidores a los productores.

9. **¿Qué sucede con los organismos de una trama alimentaria, si por acción humana se reduce el número de consumidores secundarios de esta comunidad?**

   I. los consumidores primarios aumentan.
   II. el número de descomponedores decrece dramáticamente.
   III. los consumidores terciarios disminuyen.
   IV. el número de productores aumenta fuertemente.

   A. Solo I
   B. Solo III
   C. I y III
   D. II y IV
   E. I, II, III y IV

10. **¿Cuál de las siguientes sustancias no se encontraba presente en la atmósfera terrestre hace unos 4.000 millones de años?**

    A. O_2
    B. N_2
    C. CO_2
    D. CH_4
    E. SO_2

11. **De acuerdo a diferentes análisis, se cree que la concentración atmosférica de CO_2 ha disminuido, hace 4.500 millones de años a la actualidad, desde un 28% a un 0,003 %. ¿Qué proceso ha provocado este cambio?**

    A. La aparición de animales.
    B. La respiración anaeróbica.
    C. La mayor frecuencia del volcanismo.
    D. El desarrollo de organismos fotosintéticos.
    E. Un aumento de las tasas respiratorias.

12. ¿Cuál de los siguientes opciones relacionadas con el ciclo del nitrógeno es correcta?

A. La desnitrificación tiene como producto al NO_3^-.
B. Las plantas absorben nitrógeno en forma de nitrito y amonio.
C. La gran fuente de nitrógeno en la naturaleza se encuentra en el suelo.
D. Las bacterias nitrosantes establecen una relación simbiótica con algunas plantas.
E. La fijación de nitrógeno puede ocurrir por medio de la acción bacteriana.

13. Entre los factores determinantes de la biodiversidad, se encuentran:

I. la recombinación genética.
II. la disponibilidad de nicho ecológico.
III. el aislamiento geográfico.

A. Solo I
B. Solo II
C. I y II
D. II y III
E. I y III

14. ¿Cuál(es) de los siguientes factores tiene(n) efectos negativo(s) sobre un ecosistema?

I. El crecimiento explosivo de la población humana.
II. La descarga de residuos humanos sobre ríos, lagos y el mar.
III. El aumento de las tierras de labranza en detrimento del bosque nativo.

A. Solo I
B. Solo II
C. I y II
D. I y III
E. Todas son correctas.

15. Entre los factores que disminuyen la biodiversidad de los ecosistemas se encuentran

I. la contaminación.
II. la actividad industrial.
III. la erosión de los suelos.
IV. la desforestación causada por incendios.
V. las variaciones estacionales de temperatura.

A. I y IV
B. II, III y IV
C. III, IV y V
D. I, II, III y IV
E. I, II, III, IV y V

16. ¿Cuál de los siguientes recursos naturales se considera no renovable?

A. El agua.
B. El viento.
C. El carbón.
D. La luz solar.
E. Los bosques de pino.

17. Un grupo de industrias desea respetar los principios del desarrollo sustentable, por lo que acuerdan:

A. cerrar sus instalaciones.
B. mudarse a otro lugar.
C. utilizar más combustible para sus maquinarias
D. limpiar el agua contaminada que producen en sus fábricas.
E. realizar estudios que permitan aumentar su productividad.

18. ¿Qué efecto(s) puede provocar en el ecosistema marino la sobreexplotación de especies como la anchoveta?

I. Alteración de las cadenas alimentarias.
II. Aumento de la tasa fotosintética en el mar.
III. Incremento en la competencia entre los depredadores de la anchoveta.

A. Solo I
B. Solo II
C. Solo III
D. I y II
E. I y III

19. En Chile, una de las principales medidas de conservación y protección de la naturaleza es el establecimiento de Áreas Silvestres Protegidas. Entre los objetivos de la implementación de esta medida se encuentran:

I. Impedir la entrada de personas a estas zonas protegidas.
II. Prohibir la caza y captura de las especies que habitan en estas áreas.
III. Recuperar el número de ejemplares de especies vulnerables.
IV. Promover el uso racional de la flora y fauna presente en las zonas protegidas.

A. I y II
B. III y IV
C. II y IV
D. I, II y III
E. Todas son correctas.

20. El efecto invernadero es uno de los principales problemas ambientales de la actualidad, al respecto ¿cuáles de las siguientes situaciones son causas de este fenómeno?

I. El uso de combustibles fósiles.
II. El fenómeno de calentamiento global.
III. La desforestación de zonas como el Amazonas.
IV. La actividad de centrales termoeléctricas.
V. La destrucción de la capa de ozono.

A. I, III y IV
B. II, IV y V
C. II, III y IV
D. I, III, IV y V
E. Todas son correctas.

21. ¿Cuál(es) de los siguientes factores afecta(n) la estabilidad ecológica del bosque nativo chileno?

I. Actividad ganadera intensiva.
II. Extracción ilegal de algunas especies.
III. Cambio climático global.
IV. Incendios forestales.

A. Solo II
B. I y II
C. III y IV
D. I, III y IV
E. Todas son correctas.

22. En un ecosistema agrícola existe una gran cantidad de polillas que se alimentan de los brotes de árboles en plantaciones de pino, destruyéndolos. Si en este ecosistema se introducen poblaciones de un insecto depredador de la polilla herbívora se puede esperar que:

A. la población de polillas aumente.
B. los insectos depredadores disminuyan.
C. la cantidad de pinos dañados baje.
D. las polillas herbívoras se extingan.
E. aumente la competencia entre las polillas.

23. La relación interespecífica en que las dos especies se benefician sin ser indispensables para su supervivencia, corresponde a:

A. herbivoría.
B. comensalismo.
C. protocooperación.
D. mutualismo.
E. amensalismo.

24. ¿Cuál de los siguientes ejemplos corresponde a la interacción entre especies llamada parasitismo?

A. Avispas que cazan pequeños insectos.
B. Plantas de color blanco que extraen savia desde otros arbustos.
C. Grupos de animales herbívoros que deben compartir el alimento.
D. Protección química en algunas plantas que impide el crecimiento de otras cercanas.
E. Consumo de carne por parte de aves carroñeras.

25. *Rhizobium* es un grupo de bacterias que interactúan con las raíces de plantas de la familia Fagáceae (leguminosa). Las bacterias *Rhizobium* son capaces de fijar el nitrógeno del aire que permite la nutrición de los vegetales, mientras que las plantas entregan glucosa y otras sustancias a las bacterias. ¿Cómo se denomina la interacción que realiza el *Rhizobium* con las plantas de leguminosa?

A. Competencia.
B. Amensalismo.
C. Mutualismo.
D. Neutralismo.
E. Comensalismo.

26. De los siguientes ejemplos ¿cuál corresponde a la interacción entre especies llamada competencia?

A. Una especie vegetal es consumida por los herbívoros.
B. Una abeja poliniza a diferentes flores.
C. Dos especies carnívoras comen el mismo tipo de presa.
D. Un pez se alimenta del alimento que no es consumido por otro.
E. Un depredador detecta y captura a su presa.

27. ¿En cuál de los siguientes ejemplos ocurre una sucesión ecológica de tipo primaria?

A. Sobre un bosque tropical en estado de clímax.
B. En una pradera después de un incendio forestal.
C. Sobre los sedimentos de un aluvión que cubren la zona de un valle.
D. Entre las rocas que surgen luego de una erupción volcánica.
E. En el fondo de un lago contaminado.

28. Ordena la secuencia de seres vivos que ocurre en una sucesión ecológica, desde la roca desnuda hasta el estado de clímax.

A. pastos - líquenes - musgos - árboles arbustos.
B. musgos - pastos - arbustos - líquenes - árboles.
C. árboles - pastos - musgos - arbustos - líquenes.
D. líquenes - musgos - pastos - arbustos - árboles.
E. musgos - líquenes - pastos- árboles - arbustos.

29. ¿Qué mecanismos contempla la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente?

I. Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
II. Establecimiento de una institucionalidad ambiental.
III. Participación ciudadana.

A. Solo I
B. Solo II
C. Solo III
D. I y II
E. Todas son correctas.

30. Un ecosistema no intervenido posee una capacidad de carga de 50 arbustos por hectárea. Si por acción humana se introduce un sistema de riego tecnificado, ¿qué sucederá con la capacidad de carga del lugar?

I. Aumentará.
II. Disminuirá.
III. Se mantendrá.
IV. Colapsará.

A. Solo I
B. Solo II
C. Solo III
D. I y IV
E. II y IV

Solucionario

1. E	**7.** A	**13.** D	**19.** C	**25.** C
2. C	**8.** D	**14.** E	**20.** A	**26.** C
3. D	**9.** C	**15.** D	**21.** E	**27.** D
4. E	**10.** A	**16.** C	**22.** C	**28.** D
5. B	**11.** D	**17.** D	**23.** C	**29.** E
6. C	**12.** E	**18.** E	**24.** B	**30.** A

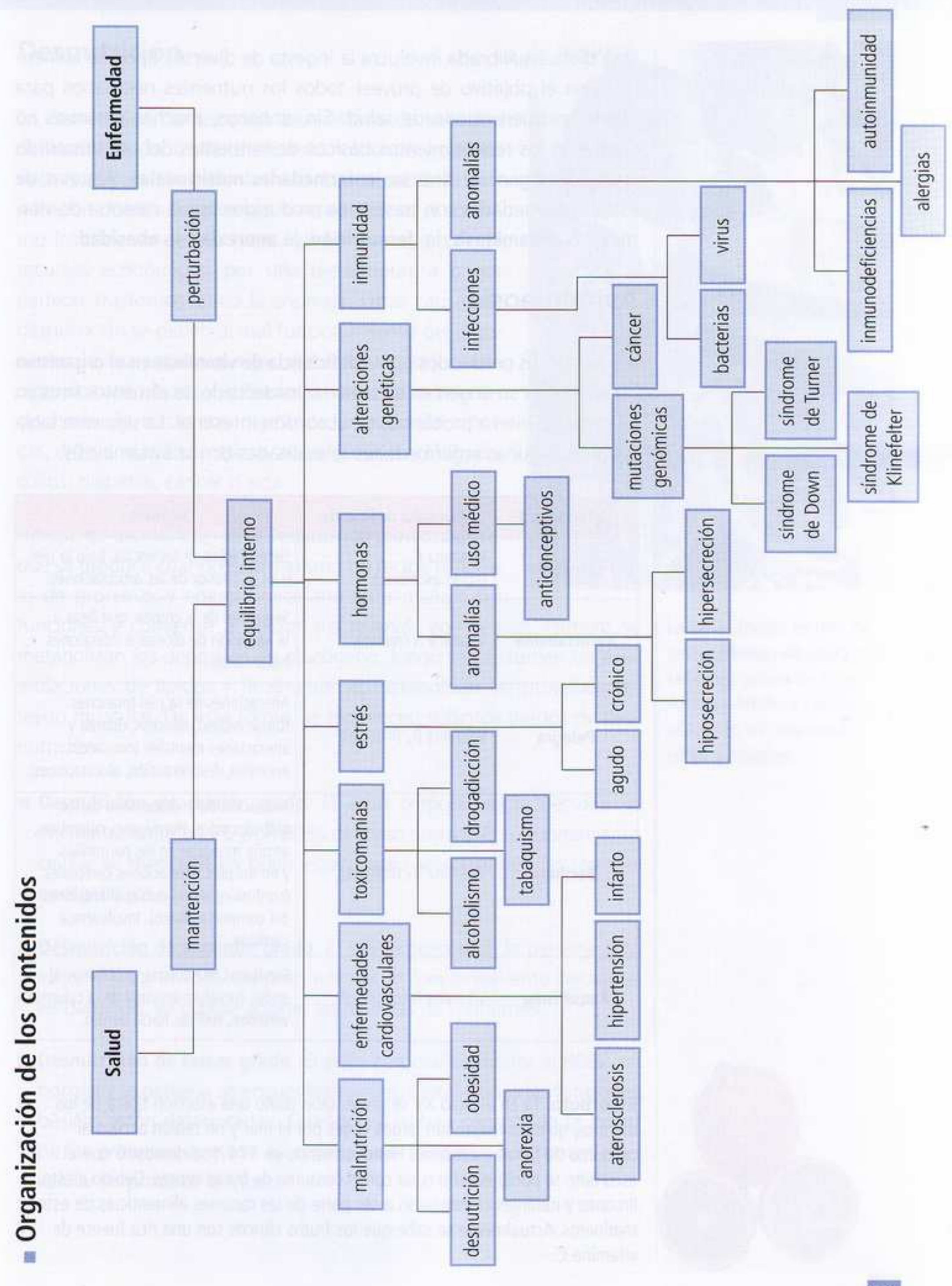
Capítulo 3

Biología humana y salud

El ser humano, como todos los seres vivos, es capaz de mantener relativamente constante su medio interno, a pesar de los continuos cambios del medio ambiente en que habita. Lo anterior no hace referencia solamente a un balance químico y energético. El bienestar físico, mental y social, en conjunto, constituye un estado óptimo que se denomina salud.

La alimentación balanceada, el ejercicio físico constante y el descanso adecuado contribuyen a mantener un cuerpo sano y preparado para responder eficientemente a las perturbaciones que amenazan el equilibrio interno. Sin embargo, existen situaciones como, por ejemplo, infecciones, el estrés o anomalías genéticas que no permiten al organismo mantener su condición de bienestar general y entonces se produce la enfermedad. Hoy en día existen muchas patologías que no tienen una cura establecida; no obstante, el tratamiento y control de numerosas enfermedades se ha hecho realidad gracias a los conocimientos adquiridos a través de la investigación científica.

Algunos factores que se asocian al desarrollo de enfermedades no pueden ser modificados (como el sexo, la edad, la raza, el genotipo), pero otros pueden ser controlados por el propio individuo (como los hábitos alimenticios, el consumo de drogas, cigarrillos y alcohol). Por lo tanto, el delicado balance entre la salud y la enfermedad es también responsabilidad de cada uno.



Una dieta equilibrada involucra la ingesta de diversos tipos de alimentos, con el objetivo de proveer todos los nutrientes necesarios para lograr un buen estado de salud. Sin embargo, muchas personas no satisfacen los requerimientos básicos de nutrientes del organismo, lo cual puede generar diversas **enfermedades nutricionales**. Algunas de estas enfermedades son trastornos producidos por la carencia de vitaminas o **avitaminosis**, la **desnutrición**, la **anorexia** y la **obesidad**.

Avitaminosis

Los trastornos producidos por la **deficiencia de vitaminas en el organismo** pueden tener su origen en el consumo inadecuado de alimentos ricos en vitaminas o bien a problemas de absorción intestinal. La siguiente tabla presenta algunas enfermedades relacionadas con la avitaminosis.

Enfermedad	Vitamina deficiente	Síntomas
Escorbuto	Vitamina C (ácido ascórbico).	Hemorragias en las encías, bajo la piel y en el interior de las articulaciones.
Xeroftalmina	Vitamina A (retinal).	Sequedad de la cornea, que lleva a la aparición de úlceras e infecciones bacterianas.
Pelagra	Vitamina B_3 (niacina).	Alteraciones de la piel (manchas fotosensibles), náuseas, diarrea y alteraciones mentales (cansancio, insomnio, desorientación, alucinaciones).
Beriberi	Vitamina B_1 (tiamina).	Alteración del metabolismo de los glóbulos rojos. Hormigueo, calambres, atrofia muscular en las pantorillas y en los pies. Alteraciones cerebrales (confusión, visión doble, alteraciones del comportamiento). Insuficiencia cardiaca.
Raquitismo	Vitamina D (calciferol).	Espasmos musculares, problemas al andar, curvatura anormal de la columna vertebral, rodillas hacia dentro.

Escorbuto. Ya en el siglo XV se presentaba como una afección típica de los marinos, quienes realizaban largos viajes por el mar y no tenían acceso al consumo de frutas y verduras. Posteriormente, en 1747, se demostró que el escorbuto se podía evitar o curar con el consumo de frutas cítricas. Debido a esto, limones y naranjas comenzaron a ser parte de las raciones alimenticias de estos marineros. Actualmente se sabe que los frutos cítricos son una rica fuente de vitamina C.

Desnutrición

La desnutrición corresponde a un estado de **nutrición deficiente**, es decir, a la carencia de nutrientes y calorías necesarias para mantener la salud. Las causas de la desnutrición pueden ser diversas. Una de ellas es el consumo insuficiente de alimentos, ya sea por carencia de recursos económicos, por una dieta rigurosa o por padecer trastornos como la anorexia. Otras causas de desnutrición se deben al mal funcionamiento del organismo, lo cual impide que los alimentos ingeridos sean digeridos absorbidos y utilizados. Lo anterior puede ser resultado de trastornos digestivos, infecciones crónicas, deficiencias enzimáticas, alteraciones en el hígado, colitis, diabetes, cáncer o sida.



La desnutrición es uno de los problemas de salud más serios en países de Asia, África y América Latina; afecta en su mayoría a niños y mujeres.

Un tipo de desnutrición es la **desnutrición proteocalórica**, que se produce cuando el organismo no recibe el aporte de proteínas y energía necesario para realizar sus funciones y comienza a utilizar sus reservas energéticas. Primero se metabolizan los depósitos de glucógeno, luego se consumen las acumulaciones de lípidos y finalmente se metabolizan las proteínas del tejido muscular. De esta forma, se reconocen distintos grados de desnutrición.

- **Desnutrición de primer grado**. El peso corporal de la persona se encuentra entre un 76 y un 90% del peso normal. El funcionamiento celular se mantiene en buen estado; solo se consumen las reservas energéticas.
- **Desnutrición de segundo grado**. El peso corporal de la persona está entre el 61 y el 75% del peso normal. El funcionamiento celular se ve dañando, ya que se agotan las reservas de nutrientes.
- **Desnutrición de tercer grado**. El peso corporal es menor al 60% del normal y la persona se encuentra en riesgo vital. Todas las funciones básicas están deterioradas. Cuando ya se han consumido la mitad de las proteínas que son esenciales para el normal funcionamiento celular se produce la muerte.

Anorexia

La anorexia es un **trastorno de la conducta alimentaria**. La persona que padece anorexia siente gran temor a aumentar de peso; muchas veces tiene una percepción distorsionada de su imagen corporal (aunque estén delgados se ven gordos) y presentan un peso corporal inferior al normal, según su edad, estatura y sexo.

La anorexia se presenta frecuentemente en mujeres, en un rango de edad entre los 10 y 25 años, aunque también existen casos de varones o mujeres mayores que la padecen. Existe muchos factores que en conjunto pueden desencadenar la anorexia, como, por ejemplo, razones estéticas, baja autoestima, inseguridad, ansiedad y depresión.

La anorexia comienza con una pérdida de peso corporal progresiva provocada por períodos de ayuno prolongado. En muchos casos está acompañado por la autoinducción del vómito, uso de laxantes o la realización exagerada de ejercicio físico con el objetivo de perder peso.



Algunas conductas de niñas y jóvenes, ante las que se debe prestar atención como una medida de precaución ante la anorexia, son el miedo a subir de peso y la distorsión de la imagen corporal.

Bulimia. La bulimia, al igual que la anorexia, es un trastorno en la conducta alimentaria. La persona que padece bulimia suele tener episodios en los cuales ingiere gran cantidad de comida de manera descontrolada y, luego, con el fin de evitar el aumento de peso, se induce el vómito o consume laxantes en exceso.

El organismo reacciona de distintas formas ante la reducción de la ingesta de alimentos y con ello la falta prolongada de nutrientes y de calorías. Una de estas reacciones es el **descenso del metabolismo basal**, por lo que baja la temperatura corporal y la piel se cubre de lanugo (vellosidades), para evitar la pérdida de calor. También ocurren **cambios en la función hormonal**; es así como en las mujeres con anorexia la menstruación deja de ocurrir por un tiempo prolongado, lo que se conoce como **amenorrea**. Además, el pelo se cae, la piel se reseca, los huesos se descalcifican, lo que provoca fracturas y osteoporosis; los órganos comienzan a funcionar de manera deficiente, por lo que comienzan a aparecer alteraciones cardiovasculares, renales, gastrointestinales, hematológicas y del sistema inmunológico.

Las consecuencias físicas que sufre una persona con anorexia pueden llegar a causar la muerte. Es así como esta enfermedad es el trastorno psicopatológico que causa mayor mortalidad: alrededor del 9 % del total de pacientes que la padecen.

El diagnóstico de anorexia se realiza una vez que se ha descartado la presencia de otras enfermedades que también pueden provocar una perdida de peso corporal, tales como enfermedades gastrointestinales que provocan mala absorción de nutrientes, enfermedades endocrinas (hipertiroidismo, diabetes mellitus) y trastornos neurológicos, como, por ejemplo, tumores del sistema nervioso central.

El tratamiento de la anorexia debe ser integral. Por un lado, está destinado a recuperar el peso corporal y el estado nutricional saludable, alimentando al paciente de acuerdo a los requerimientos energéticos según edad, estatura y sexo. Por otro lado, se realizan terapias psicológicas y/o psiquiátricas.

Síntomas de la anorexia	
Fisiológicos	**Conductuales**
– Pérdida importante de peso en un período breve. – Irregularidades y pérdida de la menstruación. – Palidez, caída del cabello, aparición de lanugo, frío, estreñimiento. – Debilidad, mareos.	– Negación a mantener un peso corporal normal para la talla y edad. – Reducir drásticamente el consumo de alimentos. – Afirmar que se está con sobrepeso, aunque no sea así. – Realización exagerada de ejercicio físico. – Evitar comer en compañía de otras personas. – Agresividad, tristeza y aislamiento social.





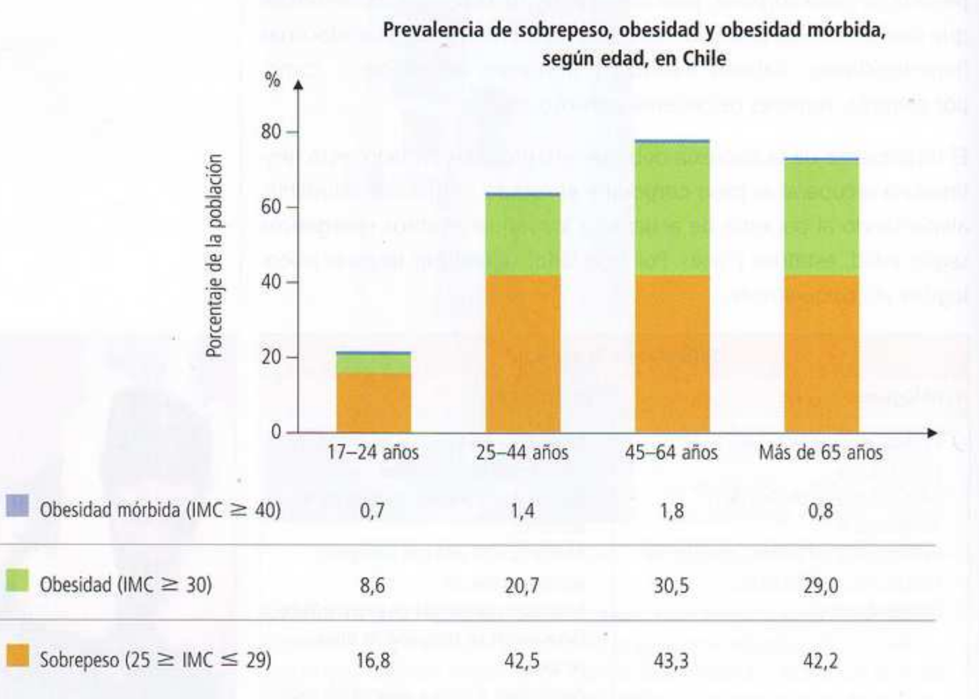
La ingesta excesiva de alimentos y un estilo de vida sedentaria son los factores primarios para desarrollar obesidad.

Obesidad

La obesidad es un condición patológica que se caracteriza por un **aumento exagerado de la cantidad de grasa corporal** provocado ya sea por el consumo de alimentos que proporcionan más energía de la requerida por el organismo o por un menor gasto de la misma. Es así como existe un **desbalance energético** en el organismo, en el cual el exceso de energía se acumula en forma de grasa en distintas partes del cuerpo, formando el **tejido adiposo**.

La obesidad puede tener diversas causas entre las que se encuentran:

- Factores genéticos que determinan una predisposición para acumular grasa.
- Alimentación desbalanceada, producto de malos hábitos alimenticios.
- Estilo de vida sedentario caracterizado por ausencia de actividad física.
- Trastornos emocionales.
- Alteraciones metabólicas y endocrinas, por ejemplo, el hipotiroidismo, que corresponde a una actividad deficiente de la glándula tiroides.



	17–24 años	25–44 años	45–64 años	Más de 65 años
Obesidad mórbida (IMC ≥ 40)	0,7	1,4	1,8	0,8
Obesidad (IMC ≥ 30)	8,6	20,7	30,5	29,0
Sobrepeso (25 ≥ IMC ≤ 29)	16,8	42,5	43,3	42,2

Fuente: Encuesta Nacional de Salud. MINSAL. 2003.

La obesidad se puede clasificar en **obesidad exógena** y **no exógena**.

- **Obesidad exógena o primaria**. Su causa se relaciona con la conducta alimenticia y las características del tejido adiposo. Según este último criterio, se identifican tres tipos de obesidad:
  - **obesidad hipertrófica**: el número de adipocitos es normal, pero su tamaño es mayor por la cantidad de grasa que acumulan.
  - **obesidad hiperplásica**: el número de adipocitos es mayor.
  - **obesidad combinada**: mayor número de adipocitos con gran cantidad de grasa acumulada.
- **Obesidad no exógena**. Su causa se relaciona con desórdenes endocrinos o trastornos del apetito controlados por el sistema nervioso.

La obesidad es una enfermedad que trae muchas consecuencias físicas para las personas que la padecen, entre las que se encuentran dificultad para respirar, problemas traumatológicos, mayor sudoración y, en las mujeres, trastornos menstruales. Estos síntomas se pueden complicar mientras mayor sea el grado de obesidad. Además, la obesidad se asocia como factor de riesgo para afecciones como la hipertensión, la diabetes mellitus, la hipercolesterolemia, enfermedades coronarias y respiratorias.

Una buena forma de **prevenir** la obesidad es mantener un peso normal, realizando ejercicio físico y manteniendo buenos hábitos alimenticios, prefiriendo el consumo de frutas, verduras y carnes magras, y evitando el consumo alimentos ricos en grasas y azúcares.

Adipocitos. Son las células que almacenan grasa y forman el tejido adiposo. La grasa proviene fundamentalmente de alimentos como el aceite o la mantequilla. Sin embargo, el organismo también puede formar grasa a partir de los carbohidratos.



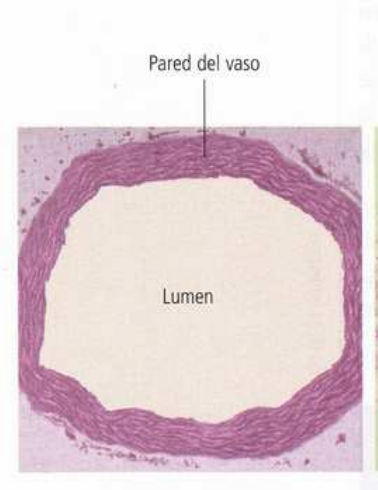
El consumo de una dieta equilibrada disminuye los riesgos de padecer obesidad.

Colesterol. Es un lípido del grupo de los esteroides. Para ser transportado por el torrente sanguíneo, se combina con proteínas, formando complejos llamados **lipoproteínas**, los cuales pueden ser **lipoproteínas de baja densidad (LDL)** o **lipoproteínas de alta densidad (HDL)**. Las LDL contienen gran cantidad de colesterol y lo conducen hacia las células que lo necesiten; pero, en condiciones anormales, depositan el colesterol en las paredes arteriales. En cambio, las HDL conducen el exceso de colesterol directamente hacia el hígado para su eliminación.

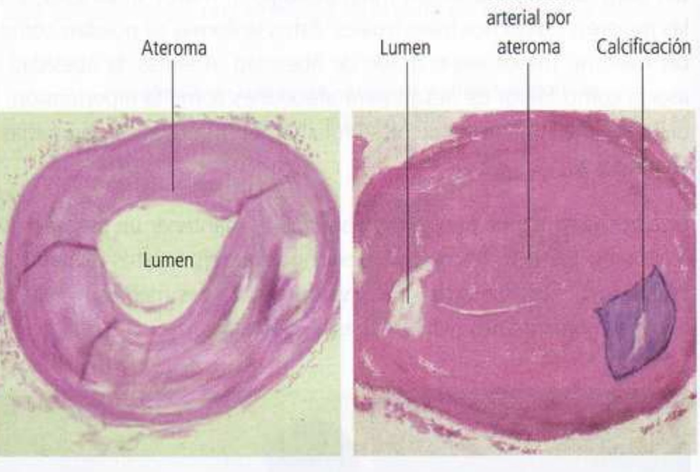
Las **enfermedades cardiovasculares** son un conjunto de trastornos que afectan al corazón y a los vasos sanguíneos. Entre las enfermedades cardiovasculares más frecuentes se encuentran la **aterosclerosis**, la **hipertensión**, y el **infarto de miocardio**.

Aterosclerosis

La **arteriosclerosis** constituye un grupo de enfermedades caracterizadas por el engrosamiento y pérdida de elasticidad de las paredes de las arterias. Entre estas enfermedades se encuentra la **aterosclerosis**, que consiste en el depósito de sustancias grasas, principalmente colesterol y triglicéridos, en las paredes internas de las arterias de mediano y grueso calibre. Lo anterior provoca el endurecimiento y la disminución del diámetro de estos vasos sanguíneos y, además, ocasiona un aumento de la presión sanguínea. Esta acumulación de grasas forma una lesión conocida como **placa aterosclerótica** o **ateroma**.



Arteria normal.



Arteria con ateroma.

Arteria bloqueada.

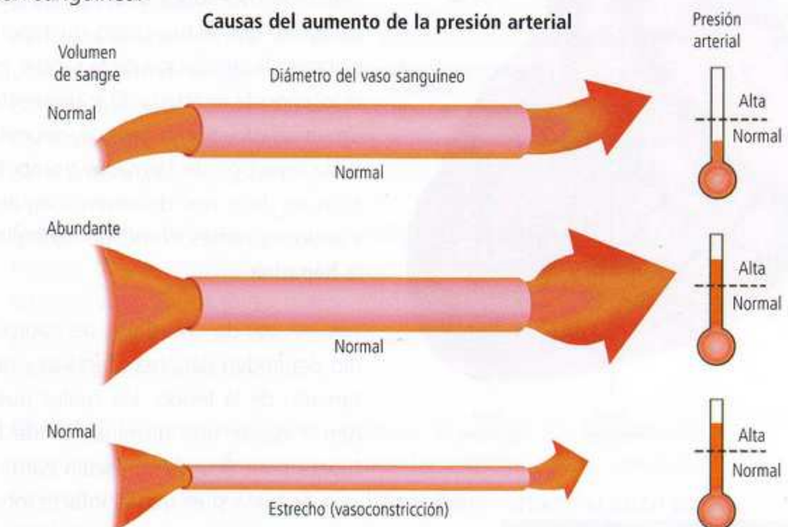
La placa aterosclerótica o ateroma se desarrolla principalmente en la capa íntima de la pared arterial.

El crecimiento de la placa aterosclerótica obstruye parcial o totalmente el flujo sanguíneo a través de la arteria, por lo que se suspende la circulación de sangre al tejido que esta irriga, cuadro conocido como **isquemia**. Si el ateroma se forma en una arteria coronaria, el corazón no recibirá el aporte de sangre necesario para funcionar adecuadamente, pudiendo provocar un infarto de miocardio.

Hipertensión

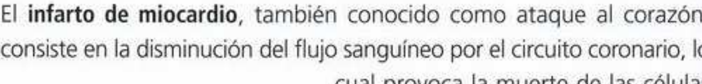
La **hipertensión** es una enfermedad cardiovascular que se desarrolla por la **elevación de la presión arterial**. Es la que se presenta y diagnostica con mayor frecuencia.

La presión arterial alta es causada por el estrechamiento (o vasoconstricción) de las arterias; en este caso, como el espacio por donde circula la sangre es menor, la presión sanguínea dentro de las arterias aumenta. De la misma forma, la circulación de un mayor volumen de líquido a través de las arterias también provoca un aumento en la presión sanguínea.



La hipertensión puede ser causa de graves problemas de salud, afectando el funcionamiento de distintos órganos, entre ellos, el corazón, los riñones y el encéfalo. Como consecuencia de la hipertensión, el corazón aumenta su tamaño debido al mayor esfuerzo que debe realizar para bombear sangre a través de los vasos sanguíneos. Esto produce una mayor demanda de oxígeno por parte del músculo cardiaco que, si no es compensada, puede llegar a provocar un infarto de miocardio. La hipertensión prolongada también puede provocar un **accidente cerebrovascular**, que consiste en la rotura de los vasos sanguíneos que irrigan el cerebro causando una hemorragia cerebral. Además, el aumento de la presión sanguínea en las arteriolas que ingresan al riñón provoca el engrosamiento de sus paredes y con ello la disminución de su diámetro, lo cual tiene como efecto una reducción del flujo sanguíneo hacia el riñón, y con ello la muerte de las células.

Infarto de miocardio

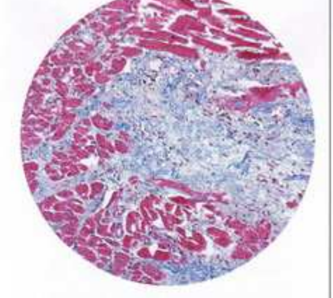


La circulación coronaria.

El **infarto de miocardio**, también conocido como ataque al corazón, consiste en la disminución del flujo sanguíneo por el circuito coronario, lo cual provoca la muerte de las células del miocardio, debido a la reducción del aporte de oxígeno.

El infarto al miocardio puede ocurrir debido a la obstrucción de la arteria coronaria, por la presencia de una placa aterosclerótica o de un **trombo** (coágulo) que actúa como un tapón, evitando la circulación de la sangre en el interior de la arteria. El tratamiento de un infarto, por lo general, necesita de la inyección de fármacos trombolíticos, es decir, que disuelven coágulos y anticoagulantes, como, por ejemplo, la **heparina**.

Los efectos de un infarto de miocardio dependen del área afectada y del tamaño de la lesión, los cuales pueden ir desde una disminución de la fuerza contráctil del músculo cardíaco hasta la muerte inmediata de una persona si es que el infarto interrumpe el sistema de conducción eléctrica del corazón.



Tejido cardiaco afectado por un infarto. La región azul corresponde a células muertas.

Arritmias

Las **arritmias** corresponden a alteraciones del ritmo cardiaco provocadas por fallas en el sistema de control de los latidos del corazón. Estas fallas pueden ser tanto una producción anormal de los impulsos eléctricos como una anomalía en la conducción del impulsos a través del corazón. Cuando las arritmias son graves pueden provocar un **paro cardiaco**, que consiste en un cese de los latidos del corazón.

Las causas de las arritmias son variadas, pueden ser producidas por fallas congénitas del corazón y también por algunos medicamentos, la cafeína, la nicotina, la ansiedad y el alcohol.

Factores de riesgo de las enfermedades cardiovasculares

Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en la población de muchos países, incluyendo Chile, donde constituye un 21,7% del total de defunciones.

Existen varios factores de riesgo asociados al desarrollo de enfermedades cardiovasculares, entre los que se encuentran:

- **Tabaquismo**. El monóxido de carbono que se produce al fumar causa lesiones en el endotelio de los vasos sanguíneos las cuales predisponen para la aparición de ateromas. Además, este gas disminuye la concentración de oxígeno transportado por la sangre y la concentración de las lipoproteínas HDL que recolectan el exceso de colesterol. Por otro lado, la nicotina promueve el aumento de la presión arterial y la formación de placas ateroscleróticas.
- **Sedentarismo**. La ausencia de actividad física predispone el padecimiento de enfermedades cardiovasculares. Diversos estudios han demostrado que, a largo plazo, existe una relación directamente proporcional entre el sedentarismo y el riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares.
- **Obesidad**. El aumento de grasa corporal es uno de los factores de riesgo más severos. Se asocia a otros factores de riesgo, como la hipertensión, el sedentarismo y la hipercolesterolemia.
- **Hipercolesterolemia**. Corresponde a altos niveles de colesterol en la sangre, los cuales pueden deberse a un consumo excesivo de grasas. La hipercolesterolemia favorece la formación de ateromas.
- **Diabetes mellitus**. Las personas con esta enfermedad tienen el doble de riesgo de padecer alguna enfermedad cardiovascular que una persona sana. Por lo general, se asocia al **síndrome metabólico**, que incluye patologías tales como la obesidad, hipertensión y problemas de coagulación.



La actividad física reduce el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares siendo uno de los principales factores preventivos de estas patologías.

3 Consumo de drogas ilícitas y salud

El término **droga** se utiliza para designar a cualquier sustancia que introducida en el organismo es capaz de producir alteraciones del comportamiento, del estado de ánimo y/o de las percepciones. Las drogas que afectan específicamente las funciones del sistema nervioso central se denominan **drogas psicoactivas** o **psicofármacos**.

Las drogas psicoactivas, cualquiera sea su forma de consumo (inhalada, tragada, fumada, o inyectada), pasan a la sangre, que las transporta hacia el cerebro y al resto de los tejidos del organismo, donde provocan sus efectos. Algunas drogas son **estimulantes**, es decir, provocan estados de euforia y exaltación; otras drogas son **depresoras**, y producen relajación y somnolencia, mientras que otras drogas son **alucinógenas**, porque distorsionan la percepción de la realidad y provocan alucinaciones.

Un criterio de clasificación de las drogas es si su consumo y comercialización es autorizado o no por la ley. En el primer caso, se trata de **drogas legales** o **lícitas**, como el alcohol, el tabaco y los fármacos de prescripción médica; mientras que en el segundo caso son **drogas ilegales** o **ilícitas**, como, por ejemplo, la marihuana, la cocaína, la heroína y el éxtasis.

En Chile, la principal droga ilícita consumida por personas entre 12 y 64 años de edad es la marihuana, seguida por la cocaína y la pasta base de cocaína. Según estos datos, se estima que 1 de cada cuatro consumidores de marihuana ha desarrollado adicción a esta droga. Asimismo, 1 de cada 3 consumidores de cocaína y la mitad de los consumidores de pasta base sufren de adición, respectivamente.

Consumo de marihuana, cocaína y pasta base en personas entre 12 y 64 años de edad, en Chile

Droga	Porcentaje de la población
Marihuana	7,0
Cocaína	1,2
Pasta base	0,6

Fuente: Séptimo Estudio Nacional de Drogas en la Población General de Chile. (2006).

El consumo habitual de drogas tiene efectos perjudiciales en la salud y, además, puede generar en quienes las consumen un estado de adicción que implica, en muchos casos, dependencia y tolerancia a la droga.

La **adicción** es la preocupación permanente por la adquisición de la droga, con un patrón de uso compulsivo y recaídas a través del tiempo que interfieren severamente en la vida de la persona.

La **dependencia física** se caracteriza por la necesidad fisiológica de consumir la droga para evitar la aparición de síntomas adversos que surgen por la privación de su consumo llamado **síndrome de abstinencia** o **privación**. La **dependencia psicológica** implica el deseo de consumir la sustancia como una forma de lograr un estado de placer y satisfacción, necesitándola para realizar la mayoría de las actividades.

PREDISPOSICIÓN AL CONSUMO DE DROGAS

Aumenta con → **Factores de riesgo**
- Crisis familiar
- Ofertas de drogas
- Baja autoestima

Disminuye con → **Factores protectores**
- Ejercicio físico
- Buenas relaciones familiares y sociales
- Ambiente libre de droga

Los adolescentes son uno de los grupos más vulnerables a la oferta de drogas por parte del grupo de pares.

La **tolerancia**, ocurre cuando la administración repetida de una sustancia a una misma dosis produce una disminución de su efecto; por lo tanto, la persona requiere consumir dosis cada vez mayores para lograr los mismos efectos fisiológicos y psicológicos que se obtenían en un principio con dosis menores.

Los **factores de riesgo** son características de la persona o del ambiente que la rodea, que la vuelven propensa al consumo de drogas. Existen factores de riesgo medioambientales y personales.

- **Factores medioambientales**. Entre estos factores se encuentran, la presión del grupo de amigos, padres consumidores, escasa comunicación en la familia, fácil acceso de obtención de las drogas, mal uso del tiempo libre y falta de información.
- **Factores personales**. Son factores psicológicos que muchas veces subyacen al individuo y que facilitan el ingreso al consumo de drogas, tales como, baja autoestima, inseguridad, facilidad para dejarse llevar por otros, poca tolerancia a la frustración e impulsividad.

Efectos y riesgos de algunas drogas en el organismo			
Droga	**Características**	**Efectos**	**Riesgos**
Estimulantes			
Cocaína	Se obtiene de la planta de la coca. También se consume como pasta base y crack.	Euforia, gran excitación, sensación de ser muy capaz. Disminuye el hambre, el sueño y la fatiga.	Crisis de pánico, problemas para respirar, accidente cerebrovascular, infarto al miocardio, arritmia, muerte.
Éxtasis	Droga sintética. Se consume por vía oral, aunque también se puede fumar o inyectar.	Hiperactividad, excitación, aumento de la temperatura y la sed.	Problemas cardíacos, deshidratación, insuficiencia renal aguda, pesadillas, insomnio, depresión, ansiedad, paranoia.
Depresoras			
Benzodiacepinas	Drogas sintéticas como el diazepam, y el flunitrazepam.	Tranquilizante e inductor del sueño.	Amnesia. Paro respiratorio.
Morfina y heroína	Derivados del opio.	Sedante y analgésico.	Generan una fuerte adicción y tolerancia.
Alucinógenos			
Marihuana	Es una planta de la cual se obtiene la sustancia adictiva llamada THC (tetrahidrocanabinol.)	Euforia, sedación, relajación, alteración de la percepción sensorial y temporal.	Crisis de pánico y ansiedad. Afecciones pulmonares.

Planta de marihuana (*Cannabis sativa*).

Efectos de las drogas en la sinapsis

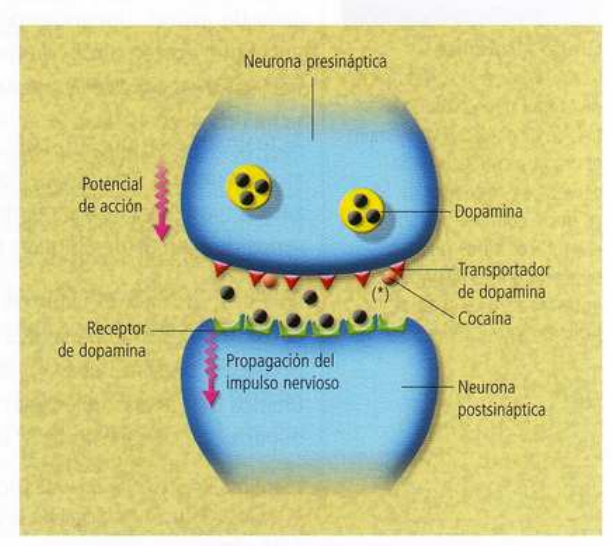
Muchas drogas actúan a nivel de la sinapsis química. La estructura química de muchas sustancias **psicoactivas** es muy similar a la de ciertos neurotransmisores del sistema nervioso. Es así como algunas drogas pueden reconocer y unirse a los receptores de un neurotransmisor provocando efectos similares a este (**agonista**) o provocando un efecto contrario (**antagonista**). Otras drogas, actúan bloqueando las proteínas transportadoras que recapturan e internalizan nuevamente al neurotransmisor a la neurona.

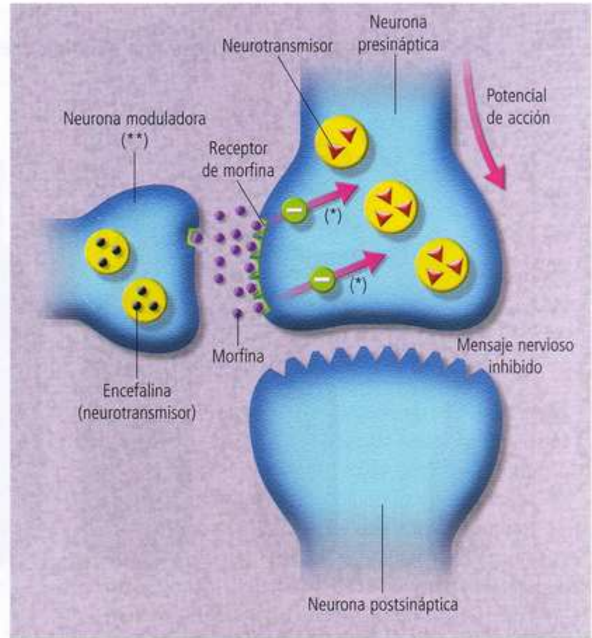
La cocaína bloquea al transportador de dopamina, neurotransmisor excitador que actúa en el cerebro. Por lo tanto, la cocaína aumenta el tiempo que la dopamina permanece en el espacio sináptico, estimulando a la neurona postsináptica, lo que aumenta la excitación cerebral.

Aunque la morfina no posee un mecanismo de acción muy claro, específicamente se sabe que se une a receptores opioides produciendo una disminución en la entrada de calcio e inhibiendo la liberación de glutamato, sustancia P y otros neurotransmisores de la vías neuronales que participan en las sensaciones de dolor.

Las benzodiacepinas se unen al receptor del neurotransmisor ácido gama aminobutírico (GABA) y refuerzan la acción inhibitoria de este, induciendo una hiperpolarización de la neurona, impidiendo con esto la transmisión del impulso nervioso.

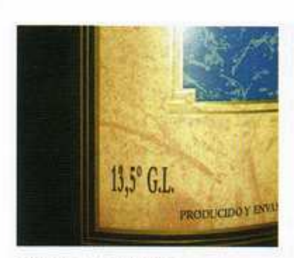
Modo de acción de la cocaína en la sinapsis química.
(*) inhibición de la recaptación del neurotransmisor por transportadores.





Modo de acción de la morfina en la sinapsis química.
(*) inhibición de la liberación del neurotransmisor.
(**) la neurona moduladora participa en la regulación de la actividad de los neurotransmisores liberados en la sinapsis.

4 Consumo de alcohol y salud



Grado alcohólico. Corresponde a la concentración de etanol que contiene una bebida alcohólica. Por ejemplo, el grado alcohólico de la cerveza es alrededor de 5°, es decir, contiene un 5% de etanol. Los vinos pueden tener un grado alcohólico entre 7° a 24° y el agua ardiente entre 45° y 55°.

Desde la antigüedad el hombre ha consumido bebidas alcohólicas como un elemento indispensable en la celebración de fiestas y rituales, así como también su consumo se ha asociado al bienestar del organismo. Esta bebidas contienen en distinta proporción **alcohol etílico** o **etanol**, el cual se obtiene por procesos de fermentación del azúcar presente en frutas (uvas, manzana), granos (por ejemplo la cebada), papas o caña de azúcar. Dependiendo del tipo de bebida alcohólica, además del etanol existen otros compuestos químicos que proporcionan a cada bebida su sabor, color y aroma característicos.

Actualmente en nuestro país, como en el resto del mundo, el alcohol es considerado una droga "legal", es decir, su consumo y comercialización masiva son socialmente aceptados, a pesar de que su uso crea serios problemas de adicción en la población.

En Chile, los últimos estudios realizados por el Consejo Nacional para el Control de Estupefacientes (CONACE)+, revelan que un 56 % de la población declara haber consumido alcohol al menos una vez en los últimos treinta días, mientras que esa cifra alcanza un 44% en los estudiantes que cursan desde 8° básico hasta 4° medio.

+Séptimo Estudio Nacional de Drogas en la Población General de Chile (2006). Sexto Estudio Nacional de Drogas en la Población Escolar de Chile. Octavo básico a cuarto medio (2005).



Fuente: Sexto Estudio Nacional de Drogas en la Población Escolar de Chile. Octavo básico a cuarto medio. (2005).

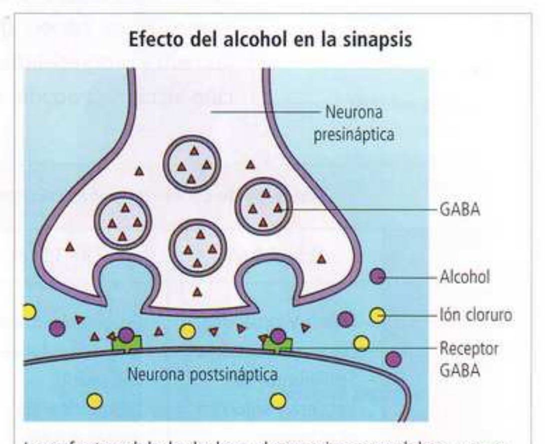
Alcoholismo

El **alcoholismo** es una enfermedad causada por el consumo descontrolado de bebidas alcohólicas. Las personas alcohólicas desarrollan una **adicción al alcohol**, lo que quiere decir que dependen tanto física como psicológicamente de su consumo, lo que provoca efectos nocivos sobre su salud y también en su vida familiar y social.

Como el alcohol es una droga que actúa sobre el **sistema nervioso central**, su consumo prolongado puede llevar a la necesidad de continuar bebiendo. De esta forma, quienes han desarrollado dependencia al alcohol experimentan lo que se conoce como **tolerancia**, que consiste en que cada vez se necesitan beber mayores cantidades de alcohol para lograr los efectos deseados y, además, al suspender su consumo sufren una serie de severos síntomas denominados **síntomas de abstinencia**, entre los cuales se encuentran insomnio, ansiedad, sudoración, aumento de la frecuencia cardiaca y de la presión arterial e, incluso, en algunos casos, convulsiones. La abstinencia se desarrolla porque el consumo prolongado de bebidas alcohólicas provoca que el cerebro se adapte a la presencia del alcohol y no puede funcionar adecuadamente en ausencia de este.

El alcoholismo no tiene una única causa, sino que existen varias condiciones que pueden gatillar su desarrollo. Por ejemplo problemas psicológicos como la depresión, la ansiedad o la baja autoestima pueden llevar a una persona a consumir grandes cantidades de alcohol por un tiempo prolongado como una forma de encontrar alivio; otros factores pueden ser de tipo social, por ejemplo la presión del ambiente que rodea al individuo, la disponibilidad inmediata de bebidas alcohólicas, y la influencia de los medios de comunicación. Además, diversas investigaciones sugieren que existen genes que predisponen al alcoholismo. Sin embargo, aún no es claro el modo de acción de estos genes. Finalmente, las personas que tienen una historia de alcoholismo familiar (madre y/o padre alcohólicos) tienen mayor riesgo de desarrollar alcoholismo que una persona que no ha pasado por esa situación.

Efecto del alcohol en la sinapsis



Los efectos del alcohol en el organismo se deben a que actúa alterando varios sistemas de neurotransmisores. Uno de ellos es el del GABA (ácido gaba aminobutírico), principal neurotransmisor inhibitorio del sistema nervioso central. El alcohol se une a los receptores de GABA y potencia su acción, estimulando la entrada de iones cloruro al citoplasma de la neurona postsináptica, lo que impide que esta genere potenciales de acción.

Alcoholemia

Al consumir bebidas alcohólicas, el etanol que contienen es absorbido directa y rápidamente en el estómago y en el intestino delgado. Esto ocurre debido a que el alcohol etílico no pasa por el proceso de digestión realizado por las enzimas de los jugos digestivos. Así, el etanol pasa directamente a la sangre, que lo transporta a los diferentes tejidos del organismo.

La **concentración de alcohol etílico en la sangre** se denomina **alcoholemia**, y es directamente proporcional a la cantidad de alcohol ingerido. El máximo nivel de alcohol en la sangre se alcanza después de 15 a 90 minutos de haber bebido el último trago, dependiendo si la persona está en ayunas o ha comido algún tipo de alimento, respectivamente. El etanol que circula por la sangre es excretado del organismo solamente si es **metabolizado** por el hígado, es decir, transformado en otras sustancias químicas que puedan ser eliminadas por la orina, el sudor o la respiración. El hígado **detoxifica** al organismo del etanol que circula por la sangre a una velocidad constante, independiente del nivel de alcoholemia. Por lo tanto, el alcohol etílico se acumula en la sangre y los tejidos, por varias horas, mientras termina de ser metabolizado. Si se beben grandes cantidades de alcohol la alcoholemia aumenta progresivamente y se puede llegar a producir una **intoxicación alcohólica aguda**, que puede causar la muerte.

Síntomas de concentraciones crecientes de alcohol en el organismo

Alcoholemia	0,5 - 0,8 g/l	0,8 - 1,5 g/l	1,5 - 3,0 g/l	3,0 - 5,0 g/l
Efectos	– Euforia y locuacidad. – Disminuye el autocontrol. – Sentimientos de fortaleza y seguridad en sí mismo. – Aumenta el tiempo de reacción. – Motricidad perturbada. – Desaparición irreal de sensaciones de fatiga y cansancio.	– Estado anímico variable (ciclos de euforia–depresión). – Descoordinación motora notoria. – Incoherencia verbal. – Impulsividad y agresividad. – Disminución del estado de vigilia.	– Disminuye la atención y la sensibilidad. – Conducta más alterada y peligrosa. – Pérdida de equilibrio. – Visión doble. – En algunos casos aparición de vómitos.	– Estado de ebriedad evidente. – Pérdida completa del equilibrio. – El sujeto puede caer en estado de coma. – > 5,0 g/l: intoxicación aguda por alcohol, lo que puede provocar un paro cardiorrespiratorio.

Efectos del alcohol en el organismo

Una vez que se ha ingerido una bebida alcohólica, el etanol que contiene es metabolizado. El metabolismo del etanol produce 7 Kcal/g, aportando más calorías que los carbohidratos. Además, el contenido nutricional de una bebida alcohólica es muy pobre. Entre sus componentes se encuentran, principalmente, agua, alcohol y muy poca cantidad de vitaminas y minerales. Por lo tanto, el consumo exagerado y prolongado de este tipo de bebidas causa aumento de peso (por el gran aporte calórico) y un desbalance en la dieta por su escaso aporte de nutrientes.

El alcohol es una droga **depresora del sistema nervioso central**, es decir, ejerce un efecto inhibidor en la actividad de las células nerviosas. Es por este motivo que su ingesta produce sensación de relajación y sedación (anestésica). La sedación provoca una disminución del control de las emociones, por lo que la persona se vuelve más conversadora, simpática, agresiva o malhumorada. También puede disminuir la tensión nerviosa y los reflejos.

El alcohol que se concentra en los tejidos provoca efectos nocivos que incluso pueden llevar a la destrucción de las células. La figura resume los efectos nocivos del consumo exagerado alcohol, a largo plazo, en diversos órganos de nuestro cuerpo.

Adaptado de: *MINEDUC. Programa de estudio Biología. Primer año medio. 1998.*

Síndrome de alcoholismo fetal. Corresponde a un conjunto defectos congénitos, mentales y del crecimiento que se manifiestan en un bebé, los cuales son provocados por la ingesta de altos niveles alcohol por la madre durante el embarazo. Los efectos del alcohol sobre el desarrollo del feto son más severos mientras más temprano comience el consumo de alcohol.

5 Consumo de tabaco y salud

El tabaco es una sustancia química que se extrae de las hojas de la planta *Nicotiana tabacum* (o planta del tabaco). La principal forma de consumo del tabaco es a través de los **cigarrillos**. El humo que emana de ellos contiene alrededor de 4.000 sustancias químicas que ingresan al organismo por la vías respiratorias.

Cada cigarrillo produce alrededor de 250 cc de humo donde se han identificado diversos productos químicos que son **nocivos** para la salud; entre ellos se encuentra la **nicotina**, un compuesto nitrogenado causante de la adicción al tabaco; sustancias irritantes y gases como el monóxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S), ácido cianhídrico (HCN) y óxidos de nitrógeno (NO y N_2O). También contiene pequeñas sustancias llamadas **alquitranes**, que aportan sustancias cancerígenas como el benzopireno. La mayoría de las partículas contenidas en el humo del tabaco tiene un tamaño menor a 3,5 micrómetros por lo que algunas pueden penetrar profundamente en los alvéolos pulmonares, difundir hacia la sangre y ser distribuidas hacia los diversos tejidos donde ejercen sus efectos dañinos.

Algunos componentes nocivos del humo del cigarrillo

Componente	Efecto
Nicotina	Constricción de los bronquios. Favorece de la obstrucción bronquial. Adicción.
Alquitranes	Se depositan a lo largo de las vías respiratorias. Pueden provocar cáncer pulmonar.
Dióxido de carbono y monóxido de carbono	Efectos tóxicos en las células. Cefaleas y náuseas.
Sustancias irritantes	Destrucción de los cilios que tapizan las vías respiratorias, provocando bronquitis crónica e infecciones respiratorias.

Fuente. MINEDUC. Programa de estudio Biología. Primer año medio. 1998.



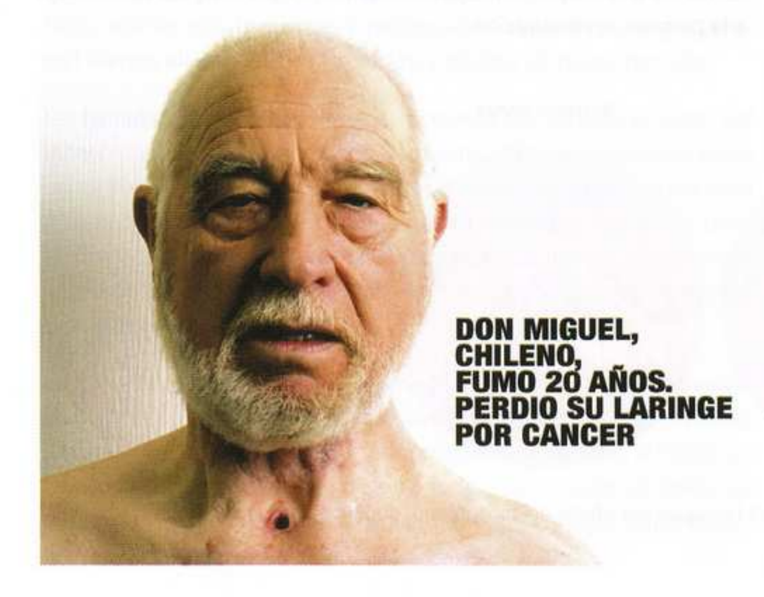
El humo del cigarrillo contiene diversos productos químicos que dañan al organismo.

Tabaquismo

El tabaco es una droga que, al igual que todo este tipo de sustancias, produce adicción, tolerancia y dependencia. La **adicción** al tabaco es producida por la nicotina y corresponde al deseo irrefrenable de continuar fumando que experimentan las personas que se han acostumbrado a sus efectos, a pesar de conocer los daños que produce sobre la salud. La **tolerancia** se identifica porque el fumador requiere de mayores dosis para obtener los efectos "agradables" que el tabaco le provoca. Por último, la **dependencia** se hace notar cuando la persona deja de fumar. Un fumador dependiente del tabaco sufre un conjunto de perturbaciones físicas y psicológicas al privarse del consumo de cigarrillos, lo cual se conoce como **síndrome de abstinencia** o **privación**.

El **tabaquismo** o adicción al tabaco es una enfermedad crónica que se traduce en el consumo prolongado de cigarrillos en el tiempo. El tabaquismo constituye un factor de riesgo para el desarrollo de cáncer, enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

El consumo de tabaco es un problema que puede comenzar en la adolescencia. Por ejemplo, según un estudio del CONACE, realizado durante el año 2005, un 42% de los estudiantes chilenos entre 8° básico y 4° medio declaró haber consumido por lo menos un cigarrillo durante el último mes.



Aun cuando los riesgos del consumo de tabaco han sido difundidos ampliamente, esta adicción representa uno de los mayores problemas de salud en nuestro país.

Riesgos del tabaco para la salud

Las personas fumadoras tienen mayor riesgo de sufrir una serie de síntomas y enfermedades de las vías respiratorias y del sistema circulatorio.

Las enfermedades respiratorias derivadas del consumo de tabaco son la bronquitis crónica, el enfisema pulmonar y el cáncer de pulmón y laringe, las cuales corresponden a efectos progresivos del consumo de tabaco.

La **bronquitis crónica** es una inflamación de los bronquios cuyos síntomas son tos con expectoración de color verde-amarillento y dificultad para respirar debido que las células mucosas producen un exceso de moco y se estrecha el lumen de los bronquios, respectivamente. La bronquitis crónica es diagnosticada cuando sus síntomas se prolongan por lo menos tres meses al año durante dos años consecutivos. Esta enfermedad da paso a que se desarrolle el enfisema pulmonar.

El **enfisema pulmonar** es una destrucción de los alvéolos pulmonares causada por la exposición constante al humo del tabaco y a otros agentes contaminantes, los cuales irritan a los alvéolos y evitan que el tejido lesionado pueda sanarse. La desintegración de los alvéolos produce disminución del área de intercambio gaseoso por lo que la concentración de oxígeno en la sangre disminuye y cualquier actividad que demande una mayor cantidad de oxígeno por parte de las células deja a la persona sin respiración.

Bronquios sanos
Lumen bronquial
Célula ciliada
Célula secretora de mucus
Mucus
Bronquitis crónica
Cáncer
Células cancerosas

Alteraciones que sufre la mucosa bronquial por efecto del tabaquismo, durante la bronquitis crónica y producto de un cáncer.

El **cáncer de pulmón** corresponde a una proliferación descontrolada de las células de los bronquios, originando un tumor. Las células ciliadas y mucosas son reemplazadas por células cancerosas, las cuales se propagan hacia el pulmón y bloquean los conductos bronquiales. El tratamiento para este cáncer consiste en la extracción del tumor e incluso del pulmón enfermo para evitar que las células cancerosas puedan migrar a través de la circulación linfática o sanguínea hacia otros órganos produciendo cáncer en ellos (metástasis). Los fumadores tiene un riesgo 20 veces mayor de desarrollar cáncer de pulmón que las personas no fumadoras.



Los fumadores presentan un riesgo mayor de sufrir enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer.

El **cáncer de laringe** se desarrolla casi exclusivamente en personas fumadoras. Sus síntomas son ronquera y dolor al tragar, el cual también se puede irradiar al oído. Su tratamiento puede ser la extracción quirúrgica de la laringe y/o radioterapia.

Otros síntomas que presentan los fumadores debido al consumo de tabaco son tos y sensación de falta de aire, menos tolerancia al ejercicio físico, resfríos más frecuentes y prolongados, irritación de la garganta, mal aliento, alteraciones de las encías, y pérdida de piezas dentales.

Las **fumadores pasivos**, es decir, las personas que inhalan el humo del tabaco que otros están fumando, también sufren consecuencias en su salud. Por ejemplo, en niños pequeños el humo del tabaco incide en el aumento de enfermedades como el asma bronquial, la tos y la otitis media recurrente. Las mujeres embarazadas que fuman tienen mayor riesgo de provocar en el feto problemas de crecimiento, parto prematuro e incluso muerte fetal.

El riesgo de desarrollar cáncer de laringe y de pulmón, así como enfermedades respiratorias y cardiovasculares relacionadas con el consumo de cigarrillos, es proporcional al tiempo total de exposición al humo del tabaco. Así, las personas que dejan fumar disminuyen el riesgo de desarrollar estas enfermedades, y mientras antes lo hagan mayores son los beneficios para su salud.



Día mundial sin fumar. Cada 31 de mayo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) organiza el día mundial sin tabaco. Durante ese día en todo el mundo se organizan actividades y eventos, con el objetivo de tomar conciencia sobre los perjuicios del consumo de tabaco.

6 Estrés

En el año 1936 el endocrinólogo húngaro Hans Selye definió el **estrés** como la **respuesta del organismo** ante los diversos estímulos o agentes estresores que atentan contra el equilibrio del medio interno u homeostasis. El organismo confronta estos agentes nocivos desencadenando una respuesta fisiológica que le permite sobreponerse a esta perturbación. Los **agentes estresores** o causantes de la respuesta de estrés pueden ser:

- **Estresores exógenos**. Corresponden a estímulos de origen ambiental como desastres naturales, situaciones traumatizantes, temperatura ambiental extrema, la contaminación del aire, el tráfico vehicular, condiciones de trabajo inadecuadas, etc.
- **Estresores endógenos**. Son estímulos que se originan en el interior de cada persona como el miedo, la frustración, sentimientos prolongados de ira o culpabilidad, así como también, hemorragias, infecciones, sueño insuficiente, etc.

El **estrés agudo** es una respuesta fisiológica rápida e intensa, que puede ser de defensa o adaptación, y que asegura la supervivencia del individuo ante una situación de amenaza. Por ejemplo, el descenso rápido por una pista de esquí provoca en el organismo un aumento de la tensión muscular y un incremento de la frecuencia cardiaca, como una forma de superar esta situación de forma exitosa. Si la condición de amenaza se mantiene por tiempo prolongado, se habla de **estrés crónico**.





La contaminación del aire (esmog), atochamientos de vehículos en una calle, la temperatura ambiental baja son algunos tipos de agentes estresores exógenos.

Fases del estrés

La respuesta del organismo frente al agente estresor corresponde a una serie de reacciones fisiológicas que reciben el nombre de **síndrome de adaptación general**, el cual se divide en tres fases: **alarma**, **resistencia** y **agotamiento**.

- **Fase de alarma**. Al presentarse un peligro o situación de amenaza se produce una reacción de alarma, donde el organismo se prepara para responder al estímulo. Esta respuesta fisiológica es inespecífica, es decir, es la misma para cualquier agente estresor, y se produce como resultado de la activación del **sistema nervioso simpático** y el **eje hipotálamo-hipófisis-glándula suprarrenal**, que desencadenan los siguientes eventos :
  - Activación del sistema inmune y aumento del número de linfocitos circulantes.
  - Liberación de gran cantidad de glóbulos rojos.
  - Aumento la frecuencia cardiaca y de la irrigación sanguínea en las zonas de acción, que son cerebro, músculos y corazón.
  - Aumento de la capacidad respiratoria.
  - Dilatación de las pupilas.
- **Fase de resistencia o adaptación**. El organismo intenta afrontar, superar o adaptarse a los estímulos estresores que percibe. En esta fase se observa que:
  - Los niveles de cortisol vuelven a la normalidad.
  - Mejora la respuesta física.
  - Desaparecen los síntomas advertidos durante la fase de alarma.
- **Fase de agotamiento**. Si el estímulo estresor permanece por tiempo prolongado, o se repite con frecuencia, la regulación homeostática se pierde y el individuo presenta disfunciones fisiológicas y psicológicas.

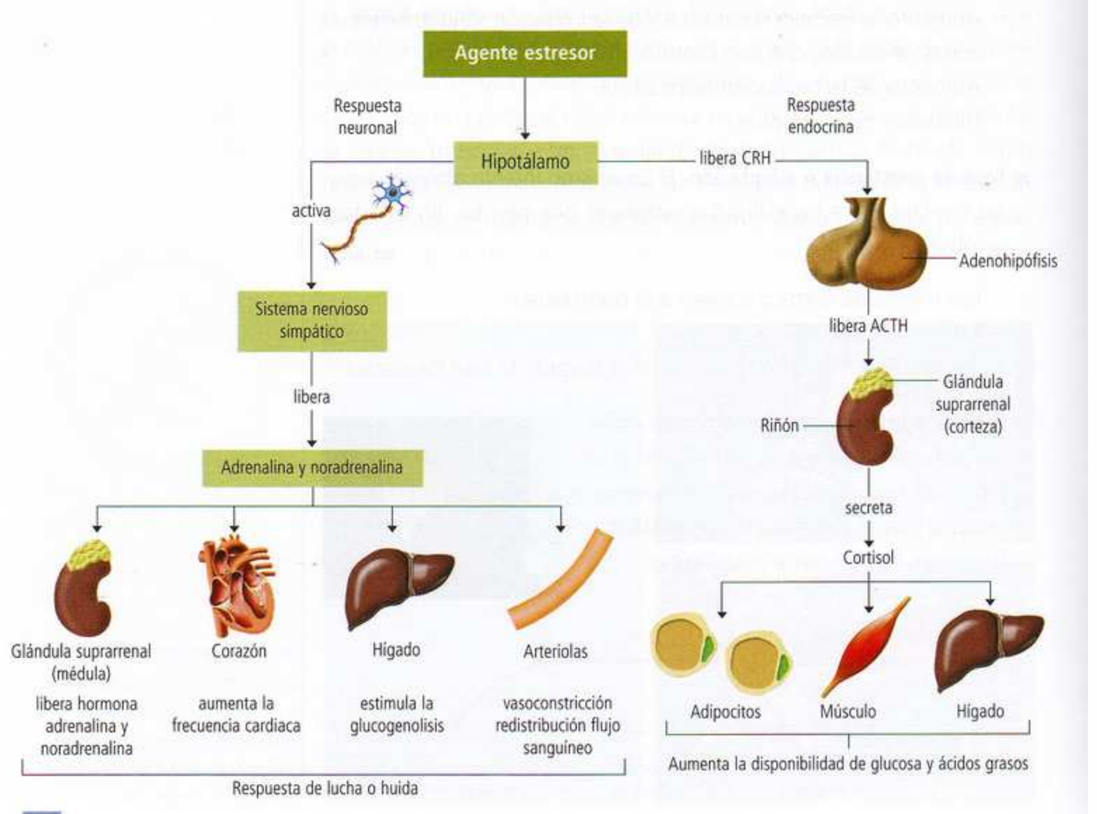




Respuesta neuroendocrina del estrés

Ante un estímulo estresor, el **hipotálamo** activa al **sistema nervioso simpático**, el cual es una vía motora que actúa sobre músculos y glándulas a través de los neurotransmisores **adrenalina** y **noradrenalina**, provocando una respuesta fisiológica que permite dotar al organismo de la capacidad para huir o enfrentarse al agente estresor (respuesta de lucha o huida).

Al mismo tiempo, se activa el **eje hipotálamo-hipófisis-glándula suprarrenal**. El hipotálamo secreta **hormona liberadora de corticotropina** (**CRH**), que actúa sobre la hipófisis y provoca la liberación de **hormona adenocorticotropa** (**ACTH**). Esta hormona es liberada a la sangre y al llegar a la corteza de las glándulas suprarrenales estimula la secreción de **cortisol** que viaja a través del torrente sanguíneo hasta sus células blanco que se encuentran en el músculo, el tejido adiposo y el hígado. El cortisol aumenta la disponibilidad de glucosa para ser usada como combustible celular.



El estrés crónico

El **estrés crónico** corresponde a una condición de estrés que se mantiene en el tiempo, que puede ser debido tanto a la persistencia de uno o varios agentes estresores como la ocurrencia de una situación muy traumática. Una forma de estrés crónico, por ejemplo, es la sensación de agobio que puede sentir un estudiante por cumplir con todo su trabajo escolar y al mismo tiempo conservar su puesto en la selección de fútbol del colegio.

El estrés crónico es una enfermedad que puede causar alteraciones a nivel fisiológico y psicológico. Una de ellas puede ser la baja de las defensas o disminución de la respuesta inmune, por lo cual la persona afectada es más susceptible a contraer enfermedades infecciosas. Las personas que sufren estrés crónico también presentan síntomas como irritabilidad, agotamiento, dolores musculares, intranquilidad y dificultad para concentrase.

Sin duda la mejor terapia contra el estrés crónico es prevenirlo, es decir, aprender a manejar en forma adecuada la respuesta frente a situaciones de la vida cotidiana que pueden causar estrés. Para ello es conveniente:

- Planificar las jornadas de estudio o trabajo.
- Realizar algún deporte o pasatiempo que sirva como distracción.
- Conversar y pedir colaboración a otras personas (padres, amigos, profesores) cuando se tiene problemas que necesitan de ayuda para encontrar su solución.
- Aprender técnicas de relajación, por ejemplo el yoga o la meditación.
- No utilizar alcohol o tranquilizantes para enfrentar situaciones difíciles.



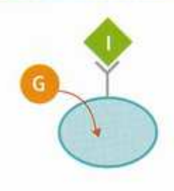
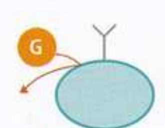
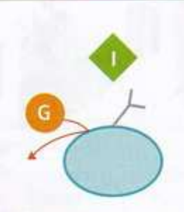
Las personas que sufren de estrés crónico tienen más probabilidades de contraer enfermedades infecciosas y de sufrir otras disfunciones fisiológicas.

7 Anomalías hormonales

Debido a que las hormonas tienen múltiples sitios de acción, frecuentemente las alteraciones en la función endocrina provocan disfunciones en diversos órganos y tejidos e incluso pueden afectar al organismo en su conjunto. El mal funcionamiento de las glándulas endocrinas generalmente ocasiona producción y secreción inadecuada de hormonas, ya sea a niveles demasiado bajos (**hiposecreción**) o demasiado altos (**hipersecreción**).

Diabetes mellitus

Es una enfermedad en la que se altera el metabolismo de los carbohidratos, por lo cual las personas diabéticas presentan permanentemente un **nivel alto de glicemia** o **glucosa en la sangre** (**hiperglicemia**). La diabetes mellitus puede ser causada por una producción reducida de insulina en el páncreas o por una imposibilidad del organismo, en especial de las células musculares, los adipocitos y las células hepáticas de reconocer la insulina circulante y por lo tanto de utilizar la glucosa plasmática.

Causas de la diabetes mellitus	
	**Condiciones fisiológicas normales**. La insulina es una hormona producida y secretada por el páncreas en respuesta al aumento de la glicemia. La insulina se une a receptores celulares ubicados en la membrana plasmática y estimula la entrada de glucosa a la célula. La glucosa incorporada es utilizada inmediatamente como combustible celular o es almacenada como fuente de energía para uso posterior.
 	**Diabetes mellitus dependiente de insulina o diabetes tipo I**. Se produce cuando el páncreas no puede producir insulina o la produce en cantidad insuficiente, debido a la destrucción o daño de las células β- pancreáticas. De esta forma la glucosa sanguínea no puede ser incorporada a la célula.
	**Diabetes mellitus resistente a la insulina o diabetes tipo II**. Se produce cuando el páncreas secreta insulina normalmente pero los receptores de insulina de los tejidos blanco no son capaces de detectarla y por lo tanto las células no incorporan la glucosa disponible.

 : Insulina  : Glucosa  : Receptor de insulina

	Diabetes tipo I (dependiente de insulina)	Diabetes tipo II (resistente a la insulina)
Edad de desarrollo	Antes de los 35 años.	Después de los 45 años.
Síntomas y signos	Síntomas derivados de la hiperglicemia: poliuria (volumen excesivo de orina), polidipsia (exceso de sed), sensación de hambre, delgadez, debilidad, falta de concentración, cansancio. Cetoacidosis diabética (cuerpos cetónicos en la sangre)	Con frecuencia, no se presentan síntomas hasta que la diabetes progresa, momento en que empiezan a manifestarse: polidipsia, poliuria e irritación ocular. Generalmente se acompaña de exceso de peso.
Tratamiento	Inyecciones diarias de insulina, dieta controlada, ejercicio.	Dieta controlada, fármacos hipoglicemiantes, en algunos casos insulina.

La importancia de diagnosticar y dar tratamiento adecuado a esta enfermedad, radica en que a medida que la diabetes progresa, la elevada concentración de glucosa en la sangre daña los tejidos. A largo plazo, la hiperglicemia causa la aparición de distintas complicaciones. Entre estas se encuentran:

- **Hipertensión, ateroesclerosis y enfermedad coronaria**. Patologías que se originan directa o indirectamente de la acumulación de sustancias derivadas de la glucosa en los vasos sanguíneos.
- **Retinopatía diabética**. Pérdida de la visión debido al daño de los vasos sanguíneos de la retina.
- **Nefropatía diabética**. Es una insuficiencia renal. La sangre no se filtra de manera normal y las proteínas se pierden por la orina.
- **Neuropatía diabética**. Lesiones nerviosas que provocan debilidad en las extremiddes, hormigueo, sensibilidad reducida y dolor.
- **Úlceras diabéticas**. Son llagas e infecciones muy profundas en la piel que se forman principalmente en los pies y que son muy difíciles de curar. Pueden llevar a la amputación de parte de la extremidad.



Diabetes tipo II. Aunque en principio fue descrita como una patología solo de adultos, actualmente se ha convertido en una enfermedad emergente entre personas jóvenes e incluso niños. La vida sedentaria y la alimentación desbalanceada están íntimamente asociadas a la aparición de esta enfermedad a edad temprana.

Alteraciones en el crecimiento

El **crecimiento** corresponde al aumento del tamaño corporal. Es un proceso continuo a lo largo del tiempo que, en los seres humanos, finaliza alrededor de los 20 años de edad –cuando acaba la adolescencia– momento en el que se alcanza la talla o altura definitiva.

En el crecimiento intervienen múltiples factores, tales como el estado nutricional y la salud del individuo, la expresión de determinados genes y la participación de la hormona del crecimiento y de las hormonas tiroideas.

La **hormona del crecimiento** o **somatotrofina** (**GH**) es secretada y producida por la adenohipófisis. Esta hormona promueve la elongación de los músculos y los huesos durante la infancia y la adolescencia y también contribuye en la regulación del metabolismo. La secreción de la hormona del crecimiento es controlada por dos hormonas hipotalámicas: el **factor liberador de hormona del crecimiento** (**GHRF**) y el **factor inhibidor de hormona del crecimiento** (**GHIF**) o **somatostatina**. El primero estimula la secreción de hormona del crecimiento mientras que la segunda la inhibe.

Algunas patologías provocadas por la alteración en la producción y secreción de la hormona del crecimiento son: el **enanismo hipofisiario**, la **acromegalia** y el **gigantismo**.

- **Enanismo hipofisiario**. Es una **deficiencia en la producción de hormona del crecimiento** que puede ocurrir desde la etapa de lactancia hasta la infancia. Esta carencia hormonal provoca estatura anormalmente baja con proporciones corporales normales. La baja producción de somatotrofina es causada por anomalías de la hipófisis, mutaciones genéticas o lesiones cerebrales. El tratamiento para esta enfermedad consiste en la administración de hormona del crecimiento sintética.

Funciones de la hormona del crecimiento.

Hipotálamo
GHRF (+)
(–) GHIF
Adenohipófisis
GH

Promueve el crecimiento de músculos y huesos.

Estimula la lipólisis.

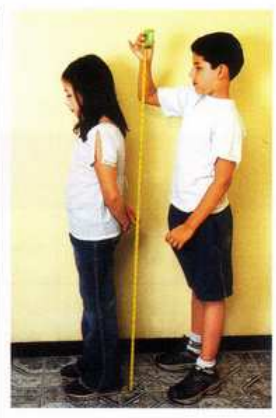
Promueve la síntesis y secreción de factores de crecimiento. Estimula la glucogenólisis.

- **Gigantismo hipofisiario**. Corresponde a una **secreción excesiva de somatotrofina** que se presenta durante la niñez antes de que termine el crecimiento de los huesos. Las personas que sufren gigantismo tienen una estatura superior a lo normal y huesos extremadamente grandes pero que no sufren deformidad. La causa de esta hipersecreción de hormona del crecimiento, frecuentemente, es un tumor benigno de la hipófisis. En la mayoría de los casos el tratamiento consiste en cirugía para extirpar el tumor. Opcionalmente se puede recurrir a la administración de análogos de somatostatina y antagonistas de la hormona del crecimiento.

- **Acromegalia**. Es un trastorno metabólico causado por el **exceso de secreción de hormona del crecimiento** después de haberse completado el crecimiento normal del esqueleto. Esto produce que los huesos en vez de alargarse se ensanchen y se deformen. Por ejemplo, la mandíbula se vuelve protuberante y los rasgos faciales se tornan toscos. Las manos y los pies se hinchan por el engrosamiento de sus huesos. Tejidos y órganos internos como el corazón, el hígado, el bazo, y los riñones, entre otros, se ensanchan pudiendo comprimir los nervios y afectando su función. La causa del aumento en la secreción de somatotrofina es, en la mayoría de los casos, un tumor benigno en la hipófisis, el cual se puede extraer por cirugía y/o destruir por radioterapia. Los valores normales de somatotrofina pueden tardar años en volver a la normalidad.

Las **hormonas tiroideas** (**tiroxina** y **triyodotironina**) son producidas y secretadas por la glándula tiroides. Junto con la hormona del crecimiento, las hormonas tiroideas son necesarias para un crecimiento normal debido a que regulan la actividad metabólica, aceleran el crecimiento corporal y estimulan el desarrollo del tejido nervioso.

- **Hipotiroidismo congénito** o **cretinismo**. Es un síndrome producido por una hiposecreción de hormonas tiroideas durante el desarrollo fetal o la infancia. Uno de los principales síntomas del cretinismo es el escaso crecimiento óseo. Si no se trata inmediatamente con la administración oral de hormonas tiroideas que suplan esta deficiencia se puede producir un severo retraso mental y del crecimiento. Algunas causas de esta enfermedad son el desarrollo incompleto o destrucción de la glándula tiroides, o la estimulación deficiente de la hipófisis sobre la tiroides.



El crecimiento es un proceso fisiológico que comienza luego de la fecundación y que culmina en la adolescencia.



Otras anomalías hormonales

- **Diabetes insípida**. Enfermedad causada por **hiposecreción de la hormona antidiurética (ADH)**. La ADH es secretada por la neurohipófisis y su efecto principal es la reabsorción de agua en el nefrón. Los síntomas que presenta la diabetes insípida son excreción de grandes volúmenes de orina y sed excesiva. Si la ingesta de líquidos es deficiente, la gran cantidad de agua perdida en la orina puede provocar deshidratación e incluso la muerte. El tratamiento consiste en la administración de ADH.

- **Mixedema o hipotiroidismo en adulto**. Se produce por la **hiposecreción de hormonas tiroideas** durante la adultez debido al mal funcionamiento de la glándula tiroides, anomalías de la hipófisis o el hipotálamo. En el mixedema disminuye el metabolismo, por lo que desciende la temperatura corporal, la persona aumenta de peso y siente pesadez física y mental. Para disminuir los síntomas se administran oralmente hormonas tiroideas.

- **Hipertiroidismo** o **tirotoxicosis**. Es un síndrome causado por hiperactividad de la tiroides que produce un **exceso de hormona tiroidea**. Esta patología puede ser ocasionada por tumores en la glándula tiroidea o en la hipófisis, enfermedad de Graves (secreción de anticuerpos que sobreestimulan la tiroides), inflamación de la tiroides por infección viral o ingesta excesiva de yodo. Algunos de los síntomas que se presentan son: pérdida de peso, aumento del apetito, nerviosismo y aumento de la sudoración. El tratamiento puede consistir en la extirpación de la glándula tiroides, la utilización de yodo radiactivo que destruye selectivamente las células de la tiroides y fármacos que inhiben la síntesis de hormonas tiroideas.

Bocio. Es un aumento de tamaño de la glándula tiroides que se observa como un abultamiento en el cuello. Puede deberse a la escasez o exceso de yodo. El yodo es un mineral esencial para la formación de hormonas tiroideas. Si la dieta es pobre en yodo, la tiroides crece como una forma de compensar su incapacidad de satisfacer las demandas corporales de hormonas tiroideas. Por otro lado, el exceso de yodo y la hiperactividad de la tiroides también causan un aumento de tamaño de esta glándula. Por ejemplo, la tiroides de las personas que padecen la enfermedad de Graves tiene un tamaño 2 a 3 veces mayor de lo normal.

Tabla resumen de algunos de los trastornos fisiológicos provocados por anomalías en la producción y secreción hormonal de glándulas endocrinas.

Glándula endocrina	Hormona	Disfunción	Patología	Tratamiento
Adenohipófisis	Hormona del crecimiento (GH) o somatotrofina.	Hiposecreción en la infancia.	Enanismo hipofisiario.	Administración de hormona del crecimiento.
		Hipersecreción en la infancia.	Gigantismo.	Fármacos análogos a la somatostatina o antagonistas a la GH.
		Hipersecreción en la adultez.	Acromegalia.	Cirugía o radioterapia.
Neurohipófisis	Hormona antidiurética (ADH).	Hiposecreción.	Diabetes insípida.	Administración de ADH.
Tiroides	Triyodotironina y tiroxina.	Hiposecreción en lactantes y niños.	Cretinismo o hipotiroidismo congénito.	Administración de hormonas tiroideas.
		Hiposecreción en adultos.	Mixedema o hipotiroidismo en adultos.	
		Hipersecreción.	Hipertiroidismo o tirotoxicosis.	Extirpación de la tiroides. Tratamiento con yodo radioactivo y fármacos inhibidores de la síntesis de hormonas tiroideas.
Páncreas	Insulina.	Hiposecreción.	Diabetes mellitus tipo I.	Inyecciones de insulina.

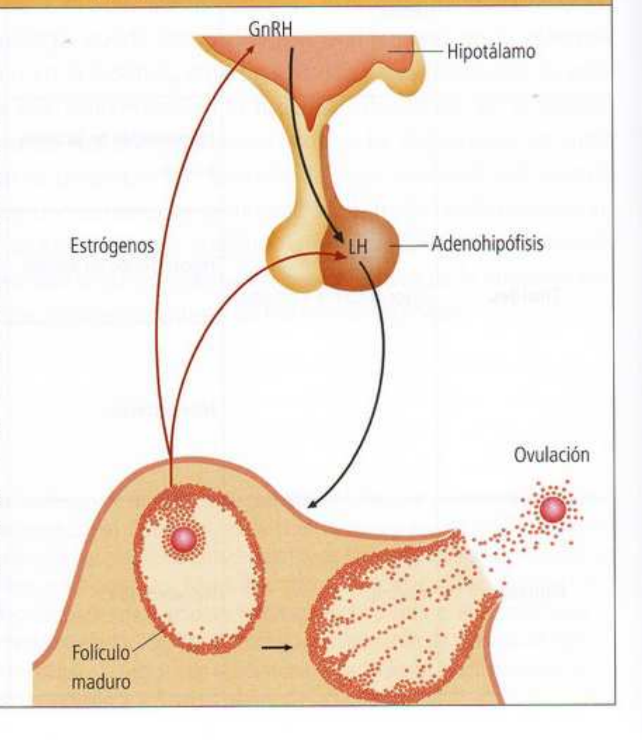
8 Anticonceptivos hormonales

Los cambios en el útero y en los ovarios que ocurren durante el **ciclo reproductor femenino** se encuentran bajo control hormonal. Es por este motivo, que uno de los principales tratamientos anticonceptivos utilizados en la actualidd consiste en la administración de hormonas que regulan este ciclo.

Los **anticonceptivos hormonales** pueden ser píldoras que se ingieren diariamente, llamadas anticonceptivos orales, o dispositivos que se implantan bajo la piel o se insertan en la vagina, tales como los implantes subdérmicos y los anilllos vaginales, respectivamente. Los anticonceptivos hormonales contienen y liberan a la circulación sanguínea hormonas sexuales sintéticas que interfieren el ciclo reproductor femenino principalmente inhibiendo la ovulación. Los anticonceptivos hormonales más usados son los llamados **anticonceptivos combinados**, los cuales son una mezcla de una alta concentración de progesterona y de una baja concentración de estrógenos. Algunos de ellos, además de inhibir la ovulación, pueden cambiar las caracterisitcas funcionales del útero dificultando el recorrido de los espermatozoides a través de él.

Cambios hormonales que gatillan la ovulación

Al comenzar el ciclo reproductor, la **hormona folículo estimulante** (**FSH**), como su nombre lo indica, estimula el desarrollo folicular en el ovario. Una vez que el folículo madura, produce y secreta **elevados niveles de estrógenos** que favorecen la liberación de la **hormona luteinizante** (**LH**) por la adenohipófisis y de la **hormona liberadora de gonadotropinas** (**GnRH**) por el hipotálamo, la que, a su vez, estimula la secreción de LH por parte de la adenohipófisis (retroalimentación positiva). De esta forma, el aumento de concentración de LH alcanza su nivel más elevado, lo cual desencadena la ovulación.



En general, el mecanismo de acción de los anticonceptivos hormonales se basa en los siguientes aspectos de la regulación hormonal del ciclo reproductor femenino:

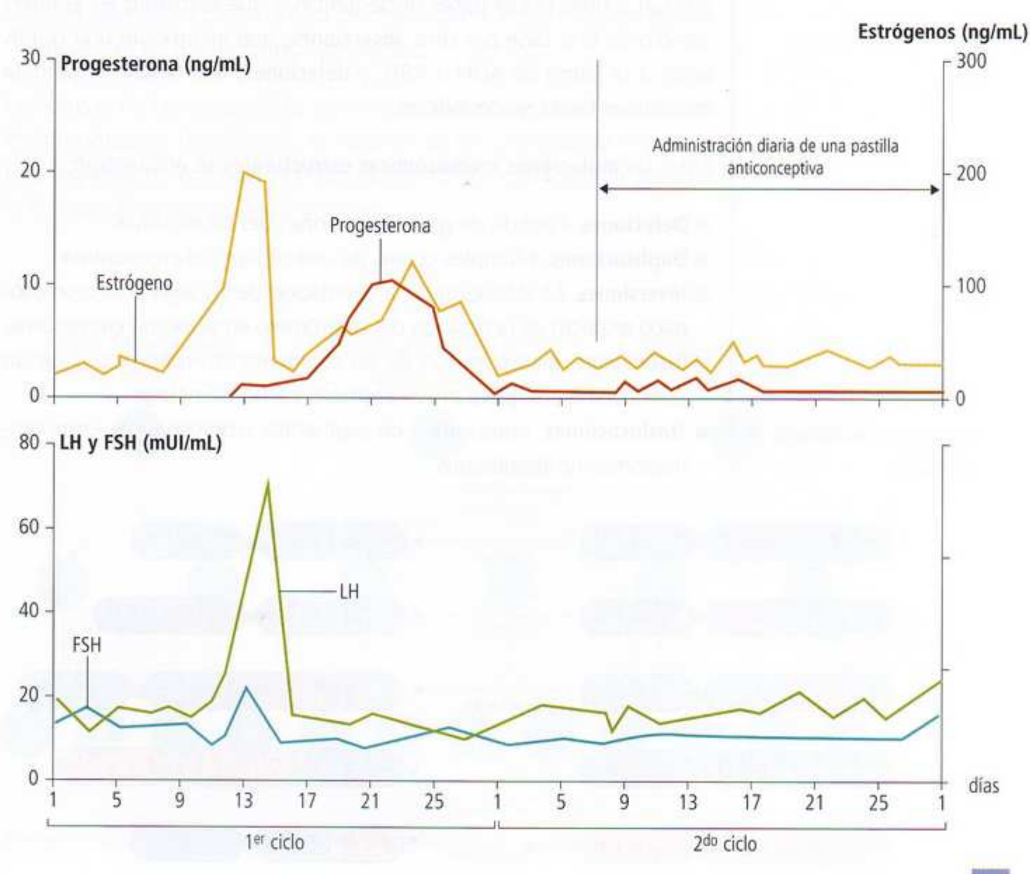
- Una concentración **moderada de estrógenos** en la sangre inhibe la secreción de GnRH por el hipotálamo y de FSH y LH por la adenohipófisis.
- La retroalimentación positiva que ejercen **altas concentraciones de estrógenos** sobre el hipotálamo y la adenohipófisis es inhibida si la progesterona está presente.

Por lo tanto, la administración de anticonceptivos hormonales provoca que los niveles de FSH y de LH se mantengan bajos, lo que impide el desarrollo folicular y la ovulación, respectivamente. De esta forma, aunque los espermatozoides ingresen al oviducto la fecundación no puede producirse.

Anticonceptivos hormonales masculinos. Actualmente se realizan investigaciones para el uso de derivados de la testosterona como anticonceptivos masculinos. Uno de estos estudios* comprobó que en hombres normales, la administración de testosterona suprime la secreción de LH y FSH por la adenohipófisis, lo que inhibe la producción de espermatozoides.

*Noé y otros. Gonadotropin and testosterone supression (...). *Human Reproduction* (9). 1999.

Variación de los niveles de hormonas sexuales por administración de hormonas sintéticas



9 Mutaciones y enfermedades genéticas

Las mutaciones son cambios de tipo estructural o funcional que modifican las propiedades del material hereditario. Dichos cambios pueden afectar tanto la secuencia de bases nucleotídicas, llamadas **mutaciones génicas**, como los cromosomas, denominadas **mutaciones cromosómicas**. Estas últimas se clasifican en mutaciones **estructurales** si involucran alteraciones en la estructura interna de los cromosomas, y en mutaciones **numéricas** si provocan cambios en el número total de cromosomas del individuo.

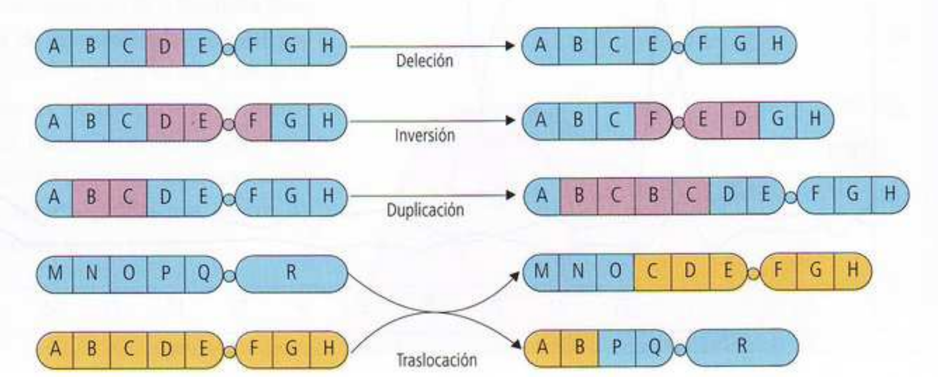
Existen mutaciones que afectan a las células somáticas y poseen un efecto restringido a una sola generación, es decir, afectan solamente al individuo cuyas células poseen la mutación. Otras mutaciones alteran el material hereditario de las células sexuales o gametos y por lo tanto pueden ser transmitidas a la descendencia.

Las **mutaciones génicas** pueden ser mutaciones de tipo **puntual**, que afectan a unas pocas bases nucleotídicas y que consisten en el intercambio de una base por otra; **inserciones**, que incorporan una o más bases a la hebra de ADN o ARN, y **deleciones**, que causan la pérdida de algunas bases nucleotídicas.

Entre las **mutaciones cromosómicas estructurales** se encuentran:

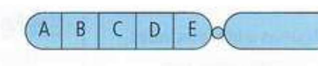
- **Deleciones**. Pérdida de grandes regiones del cromosoma.
- **Duplicaciones**. Múltiples copias de una región del cromosoma.
- **Inversiones**. Modificación de la orientación de un segmento cromosómico respecto de la posición del centrómero en el mismo cromosoma.
- **Inserciones**. Incorporación de un segmento cromosómico o de un cromosoma completo en un cromosoma no homólogo.
- **Traslocaciones**. Intercambio de segmentos cromosómicos entre cromosomas no homólogos.

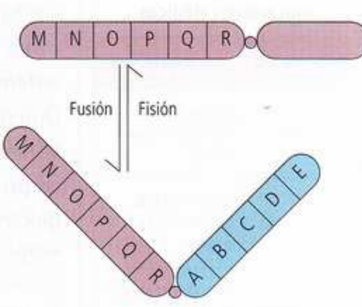
Mutaciones cromosómicas estructurales.



Las **mutaciones cromosómicas numéricas** se clasifican en dos tipos: **aneuploidías** y **euploidías**.

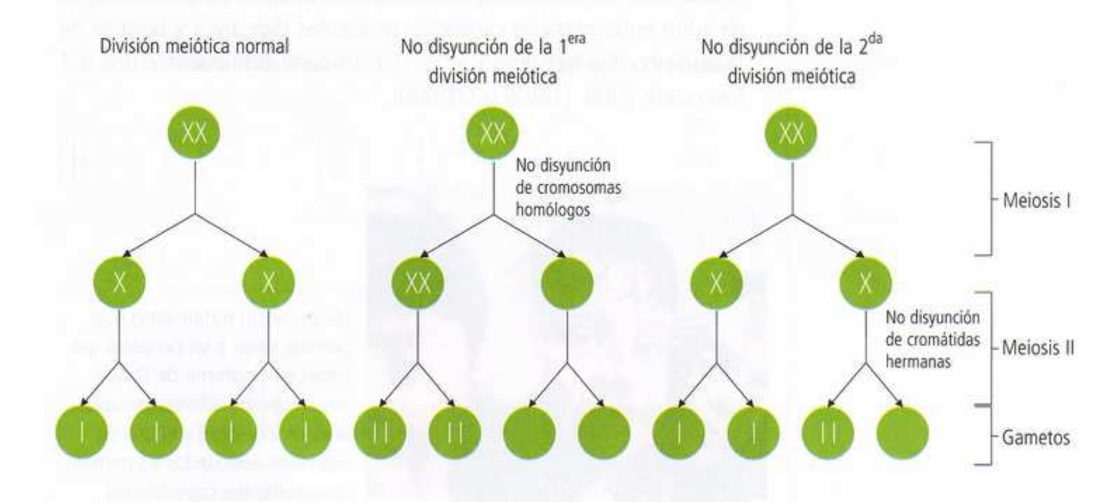
- **Aneuploidías**. Modificación del número de ejemplares de uno o más pares cromosómicos, sin llegar a afectar a todos los pares de cromosomas del individuo. Pueden ser **nulisomías** si no existe ningún miembro de un par de cromosomas, **monosomías** si solo existe un miembro de los dos cromosomas del par, **trisomías** si existen tres cromosomas en vez de dos, **tetrasomías** si hay cuatro, etc.
- **Euploidía**. Modificación del número de cromosomas de todo el juego cromosómico del individuo. Se clasifican en **monoploidías** o **haploidías** si existe solamente un ejemplar de cada tipo de cromosoma y **poliploidías** si existen más de dos ejemplares de cada tipo de cromosoma. Por ejemplo, en una tetraploidía existen 4 ejemplares de cada tipo de cromosoma. Estas mutaciones son frecuentes en algunos tipos de plantas.





Unión (fusión) y escisión (fisión) de los cromosomas.

Las causas de las mutaciones numéricas pueden ser: la unión de dos cromosomas no homólogos, la escisión de un cromosoma en dos o una segregación errónea o no disyunción de los cromosomas durante la formación de los gametos (meiosis).



Errores en la segregación de los cromosomas durante la meiosis.

Algunas enfermedades provocadas por mutaciones génicas	
Enfermedad	**Características**
Daltonismo	Incapacidad de distinguir algunos colores.
Galactosemia	Incapacidad de metabolizar la lactosa.
Fenilcetonuria	Falta de desarrollo del sistema nervioso.
Hemofilia	Problemas en la coagulación sanguínea.
E. de Huntington	Degeneración del sistema nervioso.
Albinismo	Falta de pigmento en la piel, ojos y cabello.
Polidactilia	Más de cinco dedos en las manos o en los pies.

Enfermedades genéticas

Las enfermedades genéticas son trastornos que pueden tener como causa mutaciones génicas o mutaciones cromosómicas. Un ejemplo de enfermedad causada por una mutación génica es la **anemia falciforme**. Una mutación puntual en el gen de la cadena polipeptídica que forma la hemoglobina, provoca el reemplazo del aminoácido ácido glutámico por el aminoácido valina. Este cambio de aminoácidos en la hemoglobina causa problemas en la captura de oxígeno por los glóbulos rojos.

Ejemplos de enfermedades debidas a mutaciones cromosómicas numéricas son:

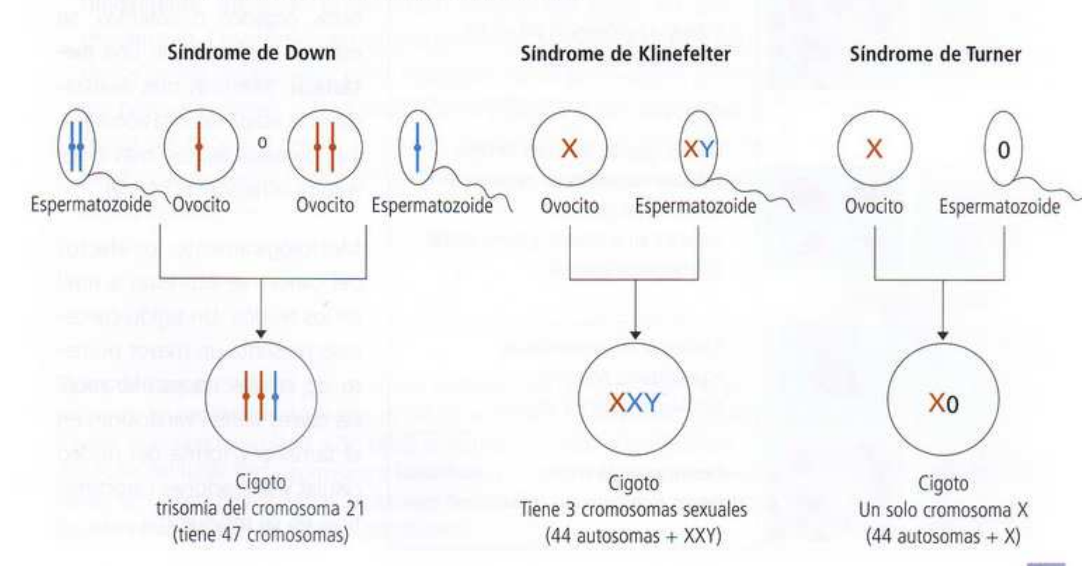
- **Síndrome de Down**. La mayoría de las personas afectadas por el síndrome de Down deben su condición a la **no disyunción** (separación) del cromosoma 21 durante la meiosis en uno de los padres, resultando en gametos portadores de un cromosoma 21 extra (**trisomía del cromosoma 21**). Un porcentaje bajo del síndrome de Down (cerca del 5%) se explica por una **traslocación** entre los cromosomas 21 y 14. En este caso, el portador de la traslocación tiene un alto riesgo de tener hijos afectados por el síndrome de Down. Independiente de su origen cromosómico (no disyuncional o traslocacional), esta enfermedad se caracteriza por sus rasgos faciales, cara plana y ancha, bajo tono muscular, dificultades en el aprendizaje, alto riesgo de sufrir enfermedades cardíacas, problemas digestivos y pérdida de la audición. Su frecuencia es de 1 caso cada 800 nacimientos a 1 caso cada 1000. (1/800 a 1/1.000).



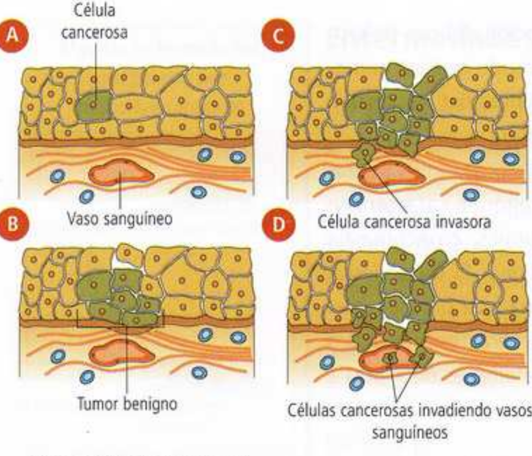
No existe un tratamiento que permita sanar a las personas que padecen síndrome de Down. Sin embargo, la kinesioterapia, la inserción social y el uso de estímulos adecuados les permite desarrollar sus capacidades y mejorar enormemente su calidad de vida.

- **Síndrome de Klinefelter**. Resulta de la **no disyunción** del par de cromosomas sexuales en los hombres (par XY), de modo que los gametos masculinos son portadores una **dotación diploide del par sexual**. Al ocurrir la fecundación del ovocito portador de un cromosoma X, el cigoto resultante posee 44 autosomas más 3 cromosomas sexuales (XXY). Los hombres con síndrome de Klinefelter se caracterizan por su baja estatura, feminización de los genitales, ginecomastia (aumento del tamaño de las mamas), e infertilidad. El tratamiento indicado es la terapia con testosterona, hormona que promueve el desarrollo muscular y la masculinización de los caracteres sexuales secundarios. La frecuencia del síndrome de Klinefelter es de 1/500 a 1/1.000.

- **Síndrome de Turner**. Las mujeres que sufren este síndrome poseen células con **una sola dotación del cromosoma X**, estando ausente de manera parcial o total el otro cromosoma X. Esta condición se debe a que el ovocito es fecundado por un espermatozoide que no posee el cromosoma sexual como resultado de la **no disyunción** del par XY durante la meiosis. Al fecundar al ovocito normal se obtiene un cigoto con 44 autosomas más 1 cromosoma sexual (X). Estas mujeres son estériles, pueden sufrir problemas cardiovasculares, renales y osteoporosis. Además, tienen un alto riesgo de diabetes tipo II. El principal tratamiento consiste en administrar estrógenos durante la pubertad para estimular el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios femeninos. Su frecuencia es alrededor de1/2.500.



10 Mutaciones y cáncer



Etapas del desarrollo del cáncer.

En condiciones normales, las células del ser humano se dividen, crecen, se diferencian (se especializan) y mueren, gracias a la presencia de un conjunto de proteínas que participan de manera secuencial en la regulación y control de estos procesos. Cuando alguno de los componentes de este sistema falla debido a mutaciones en las secuencias de ADN, las células de los tejidos afectados se pueden transformar en cancerosas. Sin el tratamiento adecuado en etapas tempranas del desarrollo del cáncer, la invasión y colonización de otros tejidos por parte de estas células generalmente causan la muerte.

Desarrollo del cáncer

En una primera etapa ocurre el surgimiento de un **tumor primario** o **neoplasia**, conformado por células normales y células en activa proliferación que descienden de una única célula cancerosa. Cuando las células neoplásicas conforman una masa localizada que no crece indefinidamente corresponden a un **tumor benigno**. Si dichas células invaden tejidos circundantes, el tumor se caracteriza como **maligno** o **canceroso**. Cuando las células cancerosas migran a través del sistema circulatorio formando tumores en otros órganos o sistemas, se está en presencia de una **metástasis**. Mientras más avanzada es la etapa de invasión agresiva de otros tejidos, más difícil resulta erradicar el cáncer.

Morfológicamente, los efectos del cáncer se expresan a nivel de los tejidos. Un tejido canceroso presenta un mayor número de células en proliferación, las cuales tienen variaciones en el tamaño y forma del núcleo celular y alteraciones características en su morfología.

Características de las células cancerosas	
	– Grandes cantidades de células en proliferación indefinida.
	– Núcleos grandes de forma variable. – Volumen citoplasmático pequeño en relación a los núcleos. – Variación en el tamaño y forma celular. – Citoesqueleto anormal.
	– Pérdida de las características especializadas normales. – Actividad bioquímica alterada.
	– Desorganización celular. – Límites indefinidos del tumor.

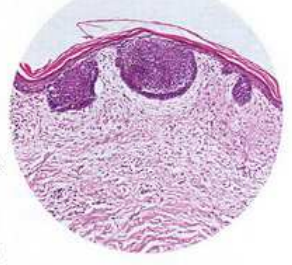
Causas del cáncer

En la medida en que el cáncer ocurre por la acción de mutaciones que alteran secuencias de ADN, es una enfermedad genética. Los principales genes que resultan afectados por estas mutaciones son los llamados **protooncogenes**, que codifican para proteínas responsables de activar controladamente la proliferación celular y los **genes supresores de tumor**, que codifican para proteínas que detienen temporalmente la división celular, permitiendo la acción de la maquinaria de reparación del ADN. Otros genes que pueden resultar afectados son los que están involucrados directamente en dicha reparación.

Los cambios en las funciones celulares que afectan a los tejidos cancerosos son los siguientes:

1. **Fallas en el control de la proliferación celular**. En los estados tempranos del desarrollo embrionario, las células del nuevo organismo proliferan activamente, tienen la capacidad de colonizar órganos distantes, pueden estimular la formación de nuevos vasos sanguíneos (angiogénesis) y producen enzimas que degradan la membrana basal de los tejidos. A medida que el organismo crece y madura, estos procesos disminuyen en frecuencia e intensidad, o se detienen definitivamente. Sin embargo, debido a mutaciones en el ADN, algunas células del organismo adulto recuperan las propiedades que poseían en el período embrionario y comienzan a **multiplicarse indefinidamente** alterando el desarrollo normal del tejido en que se encuentran. Lo anterior, en su gran mayoría, se debe a la alteración de los genes involucrados en la regulación de la proliferación celular: los protooncogenes sufren mutaciones y pasan a ser **oncogenes** o genes del cáncer y ciertas proteínas pueden inhibir el efecto de los genes supresores de tumor provocando la proliferación descontrolada de las células.

Tipos de cáncer. Según el tipo de tejidos afectados por un tumor maligno, se reconocen los **carcinomas**, originados de células epiteliales; los **sarcomas**, formados a partir de células musculares o del tejido conectivo; los cánceres provenientes de células del tejido hematopoyético o **leucemias**; y los cánceres provenientes de células del sistema nervioso. Entre los tumores benignos más comunes se encuentran los **adenomas**, propios de epitelios glandulares.



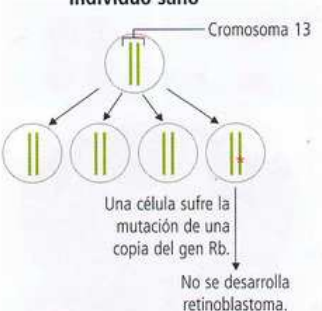
Células de un carcinoma.

2. **Modificaciones del programa de diferenciación tisular**. Los distintos tejidos se forman a partir de células **no diferenciadas** que reciben el nombre de células madre. Las células originadas a partir de las células madre siguen un programa de diferenciación (especialización) celular que comprende los siguientes pasos: pérdida de la totipotencialidad, síntesis de proteínas específicas del tipo celular al que pertenecen, pérdida total o parcial de la capacidad proliferativa, funcionamiento celular específico y muerte (apoptosis).

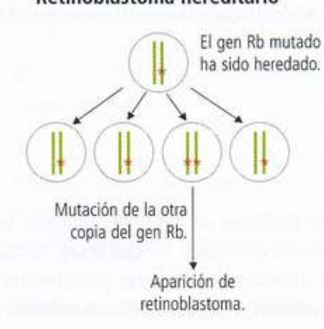
   Los tejidos que mantienen una subpoblación de células madre, como ocurre con las células del tejido hematopoyético de la médula ósea, están expuestos a sufrir cambios en el programa de diferenciación celular. En estos casos, los agentes mutagénicos pueden gatillar un desbalance a favor de la proliferación de las células no diferenciadas y generar las condiciones para el desarrollo de un tumor maligno.

3. **Células con una elevada tasa de mutaciones**. El cáncer se puede originar por mutaciones tanto a nivel de genes individuales como de segmentos completos de cromosomas. Sin embargo, para que ocurra el crecimiento y el desarrollo celular canceroso no basta con la presencia de una única mutación. La formación de un cáncer o **carcinogénesis** es un proceso que depende de eventos mutacionales recurrentes. Por ejemplo, el retinoblastoma es una forma de cáncer ocular que se da siempre y cuando la mutación de un gen supresor de tumor (Rb), localizado en el cromosoma 13, afecte al mismo tiempo ambos *loci* del gen. Si unas pocas células resultan afectadas por la mutación en solo uno de los miembros del par 13, la probabilidad de tumor es prácticamente nula (1/30.000) y no heredable.

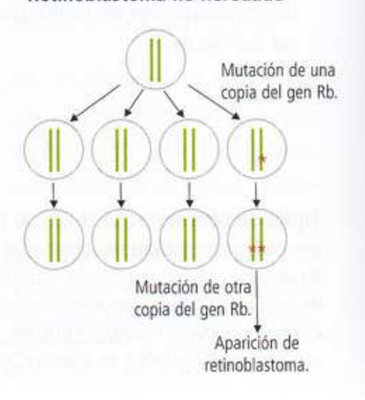
Individuo sano



Retinoblastoma hereditario



Retinoblastoma no heredado



4. **Fallas en la regulación de la muerte celular programada**. La apoptosis, suicidio o muerte celular programada, es un proceso que ocurre en la mayoría de las células del organismo de manera constante durante todo el desarrollo. El equilibrio entre la apoptosis y la mitosis, es controlada por la acción de genes que inducen la muerte programada de las células. Cuando el control de la apoptosis falla, las células no inducen su muerte y por lo tanto aumenta la probabilidad de contraer un cáncer. Por ejemplo, el número constante de linfocitos en la médula ósea, en condiciones normales, es controlado por un protooncogen que codifica para una proteína de la membrana mitocondrial que al recibir una señal de daño intracelular, causa la activación de enzimas que digieren proteínas y degradan el ADN, provocando la muerte del linfocito. En los linfocitos que se han transformado en células cancerosas (leucémicas) el control de la apoptosis se ha perdido dando inicio a su proliferación sin control.

Tratamiento del cáncer

El tratamiento del cáncer depende del estado de avance de la enfermedad. Si el tumor está presente, pero aún no ha invadido otros tejidos es suficiente su extirpación quirúrgica. Sin embargo, cuando hay metástasis se necesita realizar otros tratamientos, que permitan destruir las células cancerosas y detener su crecimiento. Estos son la **radioterapia** y la **quimioterapia**, que corresponde al uso de radiación ionizante (comúnmente rayos X, rayos gamma y electrones) y drogas, respectivamente. Debido a que las células cancerosas se caracterizan por poseer una alta tasa de mutación, son incapaces de activar su maquinaria de reparación del ADN luego de recibir el efecto de la radiación o las drogas. Por el contrario, en estas mismas condiciones, se espera que las células normales que hayan sido dañadas por estos tratamientos detengan sus procesos proliferativos, dando tiempo a la reparación del ADN dañado y a la recuperación del organismo. Como la desventaja de estas terapias es que a pesar de eliminar a las células cancerosas causan inevitablemente daño a las células sanas, los nuevos enfoques en el tratamiento del cáncer se basan en el conocimiento de la biología específica de la célula cancerosa.

Gentileza de Clínica Santa María.



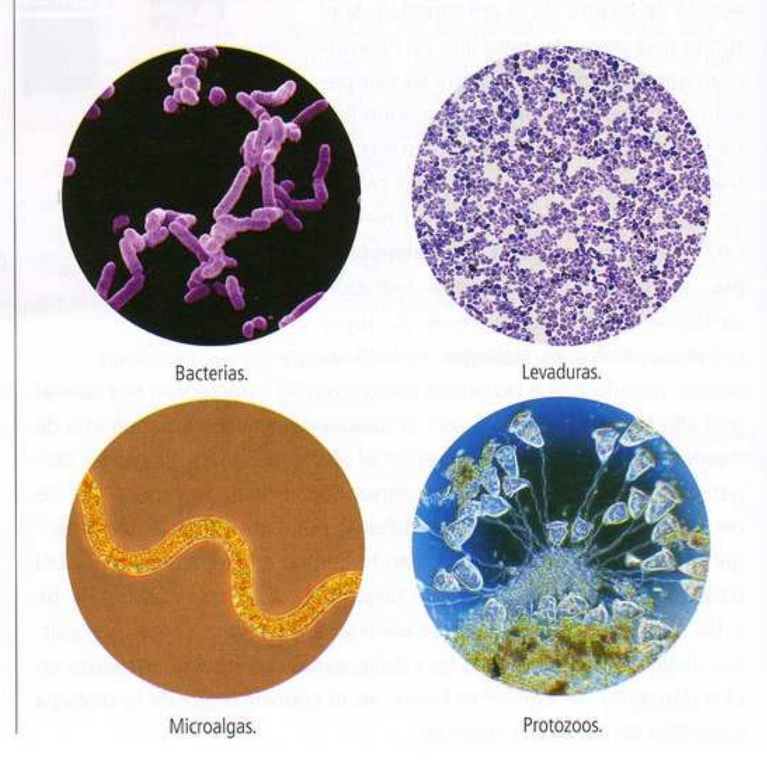
La imagen muestra un equipo utilizado en el tratamiento del cáncer a través de radioterapia llamado Acelerador Lineal Dual. Este aparato emite rayos X y electrones los cuales actúan sobre el tumor, destruyendo las células malignas.

11 Microorganismos

Los **microorganismos** o **microbios** son un variado grupo de organismos microscópicos unicelulares o pluricelulares capaces de desarrollar todas sus funciones vitales en forma independiente. Dentro de esta clasificación se encuentran los microorganismos procariontes, tales como las bacterias y las arqueas, y los microorganismos eucariontes como los hongos, las microalgas y los protozoos. Aunque no tienen estructura celular los virus convencionalmente también son considerados microorganismos.

Los microorganismos se encuentran en todas partes: en el aire que respiramos, en el suelo, en las aguas naturales tales como los océanos, los lagos y los ríos, en los alimentos que ingerimos diariamente, e incluso en inhóspitas fuentes hidrotermales, en los hielos polares y a gran profundidad dentro de la corteza terrestre. Sin embargo, a pesar de su ubicuidad, rara vez causan infección en los seres humanos. Solo una pequeña parte de los microorganismos que han desarrollado estrategias de adaptación y multiplicación para sobrevivir dentro de nuestro organismo generan daño o enfermedad. Tales microorganismos se denominan **agentes infecciosos** o **patógenos**. La mayoría de los agentes infecciosos que afectan al ser humano son bacterias, hongos y virus.

Priones. Además de los microorganismos patógenos con estructura celular y viral, existen los priones, moléculas de naturaleza proteica que tienen la capacidad de infectar células. Los priones pueden convertir proteínas celulares con una conformación normal en proteínas con una conformación anormal. Este proceso se amplifica enormemente y la célula infectada acumula proteínas anormales que finalmente alteran sus funciones, desencadenando la muerte celular. Existen al menos dos enfermedades causadas por priones que producen una rápida degeneración del sistema nervioso central: la encefalopatía de Creutzfeldt-Jacob y el kuru.



Bacterias. Levaduras.

Microalgas. Protozoos.

Los microrganismos patógenos han desarrollado **factores de virulencia** con los cuales causan daño a nuestros órganos y tejidos. Los factores de virulencia más conocidos son sustancias químicas llamadas **toxinas** que pueden ser de dos tipos: **exotoxinas**, proteínas liberadas por el microorganismo en crecimiento dentro del hospedero, y **endotoxinas**, lipopolisacáridos constitutivos de la pared celular bacteriana que se liberan cuando la bacteria se destruye.

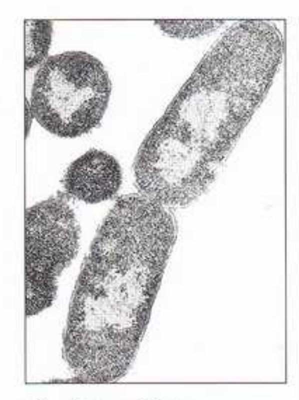
Generalmente los agentes infecciosos se propagan de un hospedero a otro, proceso denominado **transmisión** o **contagio**. Existen dos tipos principales de transmisión de microorganismos: **transmisión directa** y **transmisión indirecta**. El modo de transmisión directa puede ocurrir a través de pequeñas gotitas de saliva que se desprenden al estornudar o al toser, la cual es la vía más utilizada por los agentes de enfermedades respiratorias, o por contacto íntimo entre ambos hospederos, en el caso de los microorganismos causantes de las enfermedades de transmisión sexual (ETS). La transmisión indirecta de microorganismos ocurre a través de seres vivos u objetos. Cuando un ser vivo participa como agente transmisor se denomina **vector**. Los vectores generalmente son insectos, por ejemplo el mosquito, o vertebrados, tales como los roedores. Los objetos que participan en este tipo de transmisión se denominan **fomites** y pueden ser la ropa de cama, los juguetes o los instrumentos quirúrgicos.

El agua y los alimentos reciben la denominación especial de **vehículos de la enfermedad**, pues debido a su alto consumo pueden causar epidemias a partir de una única fuente de microorganismos.



Las gotas de saliva que se desprenden al estornudar son una vía de transmisión directa de microorganismos.

Enfermedad infecciosa. Infección es la adquisición por un hospedero de un agente microbiano que posee la capacidad de multiplicarse dentro de él. Si el microorganismo produce daño o destrucción de tejidos y se observan síntomas o signos claros de la infección, se habla de una **enfermedad infecciosa**, en cambio, si no los produce, se le denomina **infección subclínica**.

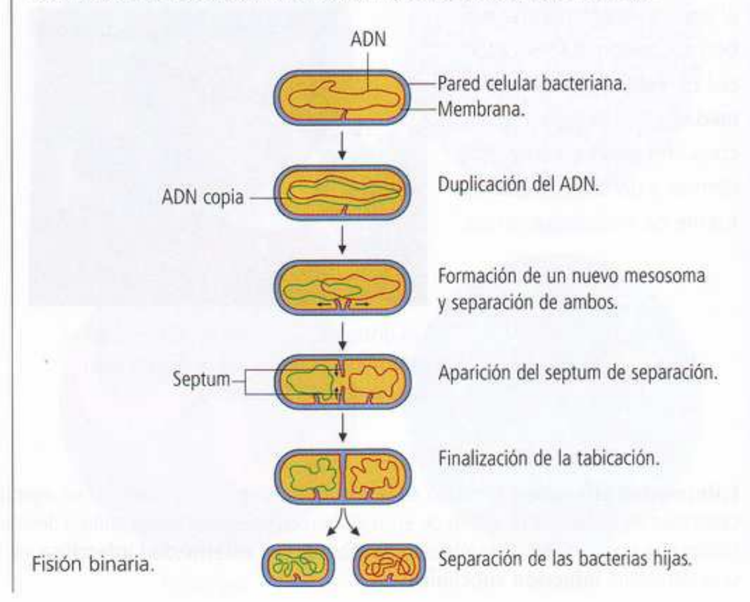

Microfotografía de *Escherichia coli* en proceso de división. (fisión binaria).

Reproducción bacteriana

La célula bacteriana, como todas las células existentes, es capaz de generar una copia de sí misma. Para hacerlo, en primer lugar, cada bacteria crece individualmente aumentando su tamaño y el número de los diferentes componentes celulares. Cuando alcanza un tamaño crítico se divide a través de **fisión binaria**, generando dos células bacterianas nuevas. Durante este proceso, la célula progenitora duplica su ADN y luego lo reparte equitativamente entre las células hijas, junto con todas las moléculas necesarias para vivir en forma autónoma. Las dos células hijas se separan a través de un tabique llamado **septum** que corresponde a una invaginación de la membrana plasmática y de la pared celular desde lados opuestos de la célula bacteriana progenitora.

El tiempo que necesita una bacteria para completar un ciclo de crecimiento depende de factores genéticos y de factores ambientales, tales como la cantidad de nutrientes, la temperatura y la luminosidad en el medio de cultivo. Asimismo, el control de la división celular parece estar íntimamente relacionado con la replicación del cromosoma bacteriano.

El intervalo de tiempo necesario para la formación de dos células a partir de una se denomina **tiempo de generación** y es muy variable entre los distintos tipos de bacterias, pudiendo ir desde veinte minutos en *Escherichia coli* hasta varios días en la bacteria *Mycobacterium tuberculosis*.



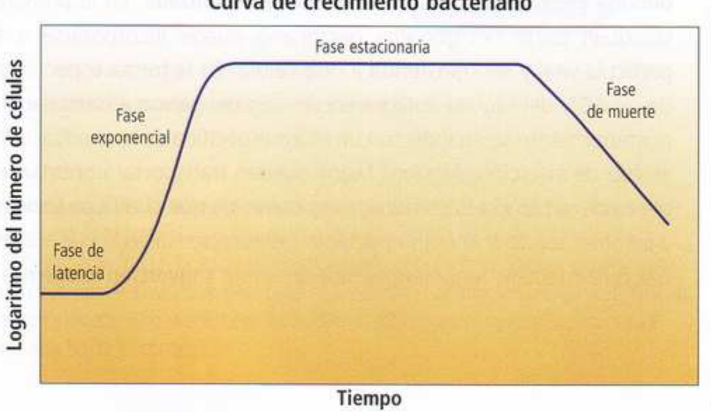
Fisión binaria.

Fases del crecimiento bacteriano

En las células bacterianas en cultivo, se puede observar su patrón de crecimiento registrando cada cierto tiempo la cantidad de organismos presentes. De esta forma se obtiene una **curva de crecimiento**, en la que se pueden reconocer diferentes etapas o fases.

- **Fase de latencia**. Representa el período de adaptación de las células bacterianas a un medio de cultivo nuevo. Por ejemplo, si una población de bacterias es transferida desde un medio rico a uno pobre en nutrientes, tendrán que sintetizar metabolitos esenciales que no están presentes en el nuevo medio, acomodando la maquinaria celular a las nuevas necesidades.
- **Fase exponencial**. Si cada una de las bacterias en cultivo se está dividiendo para formar dos células hijas, se dice que el cultivo está en fase exponencial. En general, las células en esta etapa están en un estado fisiológico óptimo siendo ideales para realizar investigaciones.
- **Fase estacionaria**. Ocurre cuando los nutrientes comienzan a agotarse y los productos tóxicos del metabolismo aumentan su concentración. La población bacteriana entra en un estado de equilibrio, donde la muerte y la duplicación celular son equivalentes, por lo que el número neto de células se mantiene estable.
- **Fase de muerte**. Si la fase estacionaria se prolonga en el tiempo, la mayoría de las células comienza a morir. En algunos casos, la muerte celular se manifiesta como lisis celular; en otros, las células permanecen intactas pero pierden viabilidad.

Curva de crecimiento bacteriano



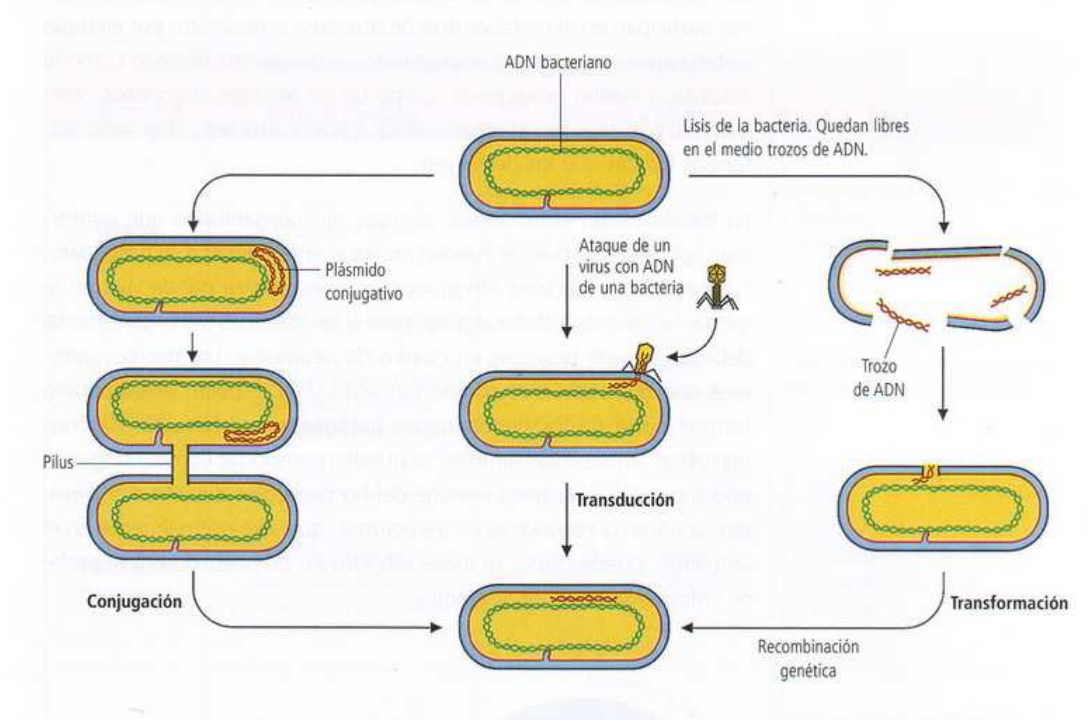
Transferencia genética entre bacterias

El fenómeno de **transferencia genética horizontal** (**TGH**) se define como el traspaso de material genético entre procariontes que no son parte de una misma línea de descendencia. El término contrario es transferencia genética vertical, que ocurre de padres a hijos. Como en los procariontes no existe la reproducción sexual, ellos habrían desarrollado este fenómeno con el fin de aumentar su variabilidad genética y por ende su adaptabilidad a diversos hábitats.

Los principales mecanismos de TGH en bacterias son los siguientes:

- **Conjugación**. Fue observada por primera vez en 1947 en cepas de la bacteria *Escherichia coli*. La conjugación requiere de una célula donadora, que contiene un tipo especial de **plásmido conjugativo**, y una célula receptora que no lo posee. Muchos de los genes que controlan el proceso de conjugación se encuentran codificados en la **región de transferencia** (***tra***) de los plásmidos conjugativos. Por ejemplo, varios genes de la región *tra* codifican para una proteína denominada pilina que forma un filamento superficial llamado **pilus**, el cual se une a una molécula específica en la célula receptora que le sirve de anclaje. Posteriormente, el pilus se retrae, acercando la célula dadora a la receptora. Finalmente, las membranas de ambas bacterias se fusionan y forman un poro que permite el traspaso del material genético, que puede ser un plásmido o el ADN cromosomal.
- **Transducción**. El ADN se transfiere de una bacteria a otra mediante un fago o bacteriófago. Estos últimos son virus que infectan a bacterias. Existen dos tipos de transducción mediada por fagos: la **transducción generalizada** y la **transducción especializada**. En la primera, cualquier parte del genoma bacteriano puede incorporarse a la partícula viral y ser transferida a otra célula. En la forma especializada, el ADN del fago se integra en un sitio del genoma bacteriano y posteriormente se escinde con un trozo específico de este adyacente al sitio de inserción. Algunos fagos pueden transportar importantes genes de virulencia bacteriana, tales como los que codifican toxinas, y cambiar así de manera importante las características de las bacterias que infectan, fenómeno conocido como **conversión lisogénica**.

- **Transformación**. La transformación bacteriana implica la captación de ADN libre desde el medio externo, provocando un cambio genético en la célula receptora. Las células, para poder captar ADN desde el medio, deben estar en un estado llamado de **competencia**, una propiedad determinada genéticamente en la cual intervienen múltiples funciones celulares que participan en el procesamiento y transporte del ADN hacia el interior de la célula. Muchas especies bacterianas son naturalmente competentes en determinadas condiciones, sin embargo, otras especies no presentan esta actividad.



Mecanismos de transferencia genética entre bacterias.

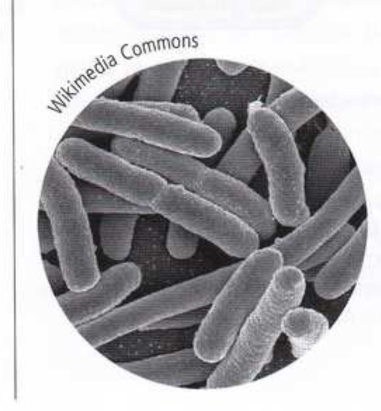
Importancia de la transformación. La primera evidencia de transformación bacteriana la obtuvo el investigador inglés Fred Griffith, al final de la década de 1920, trabajando con la bacteria *Streptococcus pneumoniae*. Dichos experimentos, junto con los de Oswald Avery en 1944, llevaron al revolucionario descubrimiento de que el material genético era realmente el ADN y no las proteínas, como se pensaba hasta entonces.

13 Infecciones bacterianas

Existe un pequeño grupo de bacterias que han adoptado a nuestro organismo como su hábitat natural, creciendo en él sin causar ningún tipo de daño. A este tipo de bacterias se les conoce como la **microbiota normal humana**. Estos microorganismos colonizan determinadas zonas del cuerpo muy temprano durante el desarrollo del hospedero (desde el nacimiento) y se ubican especialmente en la piel y en el tejido mucoso que reviste las vías respiratorias altas, el tracto digestivo y las vías urinarias. Se piensa que solo en nuestro intestino existen al menos 400 especies bacterianas.

La microbiota normal es beneficiosa para el ser humano. Estas bacterias participan en el metabolismo de diversos compuestos, por ejemplo sintetizando vitamina K o degradando carbohidratos fibrosos como la celulosa, y suelen proteger al cuerpo de los agentes infecciosos compitiendo con ellos por el espacio físico y por nutrientes y liberando sustancias tóxicas que los destruyen.

En determinadas condiciones, algunos microorganismos que conforman la microbiota normal pueden provocar enfermedad a su hospedero. Por ejemplo, la bacteria *Streptococcus pneumoniae* puede vivir en la garganta sin causar daño alguno, pero si las defensas del organismo se debilitan, puede provocar un cuadro de neumonía. Los microorganismos que muestran este comportamiento dual respecto al hospedero forman parte de los denominados **patógenos oportunistas**. Algunos microbios ambientales también se pueden comportar como patógenos oportunistas si el sistema inmune del hospedero se debilita. Por ejemplo, la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*, que vive normalmente en el ambiente, puede causar grandes estragos en un hospedero que padece enfermedad pulmonar crónica.



Escherichia coli. Bacteria Gram negativa que forma parte de la microbiota normal que habita el intestino grueso del ser humano.

Las bacterias patógenas son específicas para el tejido y para el hospedero que infectan. Esta **especificidad** se explica, primeramente, por moléculas de adhesión llamadas **adhesinas** que permiten que la bacteria se fije solo a cierto tipo de tejidos y en un determinado hospedador. La sintomatología posterior causada por la infección bacteriana se debe a la acción específica de las toxinas que posee una bacteria patógena y que dañan predominantemente a determinados tejidos blanco. Algunas de las enfermedades de causa bacteriana más conocidas y graves son el **tétanos**, la **neumonía bacteriana**, la **meningitis bacteriana** y la **tuberculosis**.

Algunas enfermedades bacterianas frecuentes en el ser humano

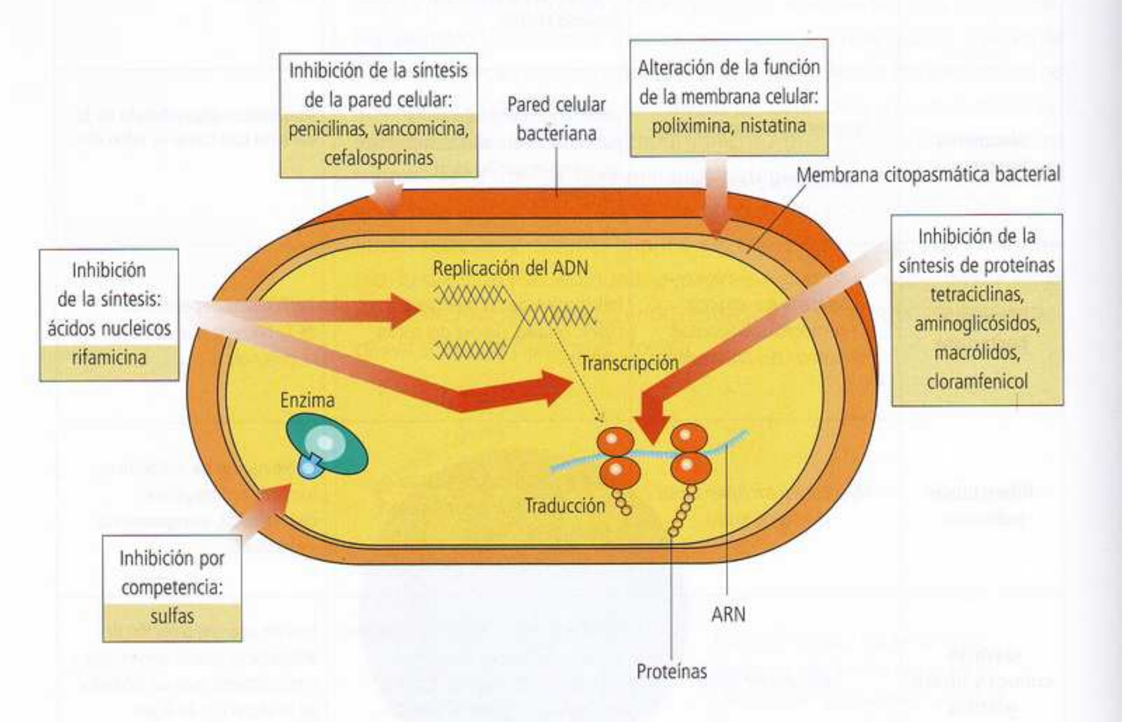
Enfermedad	Bacteria causante	Síntomas y signos	Tratamiento
Tétanos	*Clostridium tetani.*	Espasmos musculares causados por la acción de la toxina de *C. tetani* sobre el sistema nervioso central.	Antitoxina tetánica. Penicilina. Tetraciclina.
Neumonía bacteriana	*Streptococcus pneumoniae, Haemophilus influenzae, Mycoplasma pneumoniae.*	Inflamación del parénquima pulmonar, fiebre alta, decaimiento, tos y expectoración muco-purulenta.	Antibióticos dependiendo de la bacteria que cause la infección.
Meningitis bacteriana	*Neisseria meningitidis, Haemophilus influenzae y Streptococcus pneumoniae.*	Inflamación de las meninges, fiebre, cefalea, rigidez del cuello, vómitos.	Antibióticos dependiendo de la bacteria que cause la infección.
Tuberculosis pulmonar	*Mycobacterium tuberculosis (bacilo de Koch).*	Tos prolongada, decaimiento, fiebre, expectoración con sangre, dificultad para respirar.	Combinación de antibióticos: isoniazida, rifampicina, pirazinamida, estreptomicina y etambutol.
Gastritis crónica y úlcera gástrica	*Helicobacter pylori.*	Dolor abdominal, sensación molesta de saciedad precoz después de las comidas (dispepsia), eructos, regurgitación, náuseas, vómitos.	Uso de una combinación de antibióticos (como amoxicilina y metronidazol) más un inhibidor de la secreción de ácido clorhídrico.

14 Antibióticos

Los **antibióticos** son sustancias químicas producidas por microorganismos, principalmente por bacterias y hongos, que tienen un efecto deletéreo sobre el crecimiento de otros microorganismos. Los antibióticos se han utilizado en medicina desde los inicios del siglo veinte para controlar las infecciones de origen bacteriano. El descubrimiento de la penicilina por Alexander Fleming, en el año 1928, es uno de los hitos más destacados en este ámbito.

Los antibióticos se clasifican de acuerdo a diferentes criterios, por ejemplo: según su estructura química, su efecto antimicrobiano o su mecanismo de acción en la célula bacteriana. Según su efecto antimicrobiano pueden dividirse en dos grandes grupos: los antibióticos **bactericidas**, que tienen un efecto letal sobre la bacteria, y los antibióticos **bacteriostáticos**, que solo inhiben el crecimiento bacteriano.

El siguiente esquema resume los principales el mecanismo de acción de algunos antibióticos.

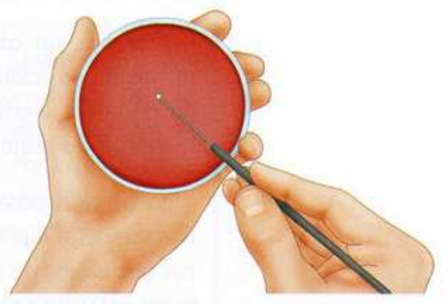


Antibiogramas y resistencia a los antibióticos

El principal método para evaluar la efectividad de los antibióticos sobre las diversas bacterias patógenas es el **antibiograma**. Una de las técnicas más utilizadas es el **antibiograma por difusión o técnica de Kirby-Bauer**. El procedimiento consiste en colocar en el medio de cultivo bacteriano discos de papel impregnados en una concentración determinada de antibiótico. Si el antibiótico causa efecto se observa un halo de inhibición en torno al disco. Dependiendo del diámetro de la zona de inhibición se clasifican las bacterias en las categorías de **resistentes**, **intermedias** y **sensibles al antibiótico**.

Actualmente muchas bacterias patógenas del ser humano están adquiriendo resistencia a varios de los agentes antimicrobianos existentes. Las principales causas de este problema son el **uso descontrolado de antibióticos**, que determina la "selección" de variedades de bacterias que no se ven afectadas por el antibiótico, y la existencia de los **mecanismos de TGH**, los cuales permiten a las bacterias compartir libremente genes de virulencia y de resistencia a antibióticos. Las **cepas multirresistentes** son de un manejo muy difícil desde el punto de vista médico y pueden oscurecer el pronóstico actual de muchas enfermedades infecciosas que hasta ahora tenían un tratamiento adecuado. Solo el uso racional de los antibióticos, la educación de la población sobre este tema, la investigación y el desarrollo de nuevas familias de antimicrobianos podrán, en conjunto, controlar esta situación.

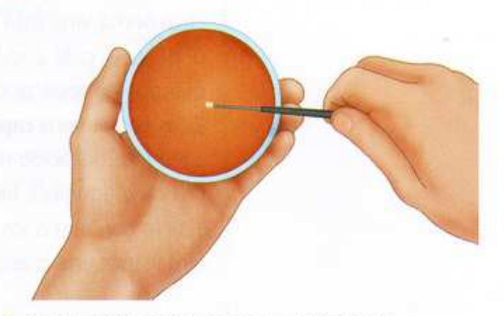
Antibiograma por difusión



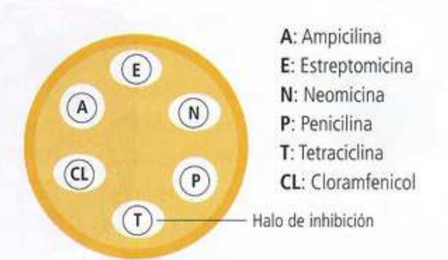
1. Se toma una muestra de bacterias.



2. La muestra se deja crecer en un medio de cultivo líquido.



3. Estas bacterias se siembran en una nueva placa.

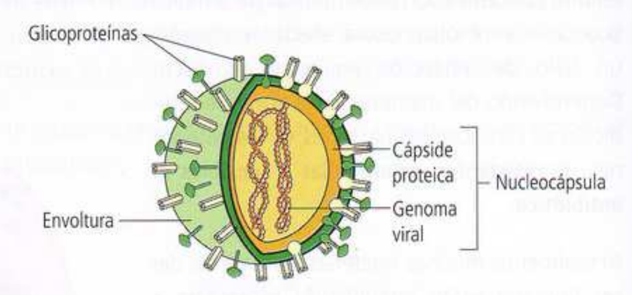


4. Sobre la placa se depositan discos con antibióticos. Luego se observa la aparición de los halos de inhibición.

Características básicas de los virus

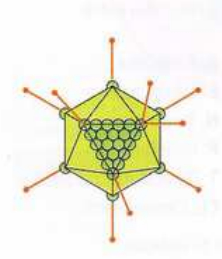
Un virus es un **complejo macromolecular** constituido fundamentalmente por un ácido nucleico, que corresponde al **genoma viral**, rodeado de una cubierta proteica llamada **cápside**. En conjunto, el ácido nucleico y las proteínas constituyen la **nucleocápsula**.

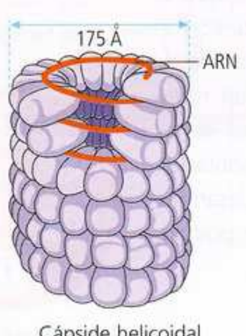
Algunos virus poseen alrededor de la nucleocápsula una estructura membranosa que recibe el nombre de **manto** o **envoltura**, constituida por una bicapa de lípidos y glicoproteínas. La estructura física completa de un virus se denomina **virión**.



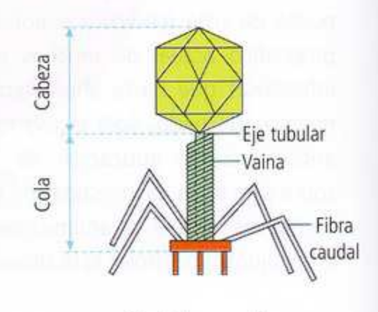
Estructura del virus de la gripe.

El genoma viral está formado por un solo tipo de ácido nucleico, ADN o ARN, el cual codifica para las enzimas virales que participan en el proceso de replicación viral y las proteínas que constituyen la cápside. Estas proteínas o **capsómeros** se disponen de manera regular y simétrica alrededor del ácido nucleico, formando tres tipos de cápside: **icosaédrica** (20 caras iguales), **helicoide** y **compleja**. La forma adoptada por la cápside le confiere a los virus estabilidad termodinámica y la capacidad de almacenar una masa determinada en el menor volumen posible.


Cápside icosaédrica (adenovirus).



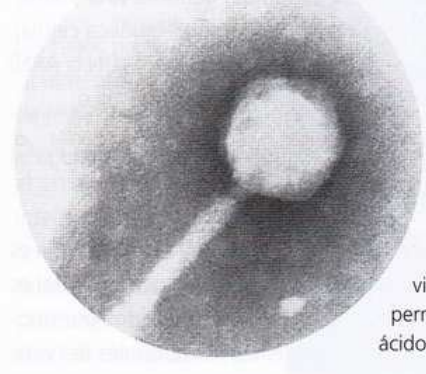
Cápside helicoidal. (virus del mosaico del tabaco)



Cápside compleja (bacteriófago).

A diferencia de las células, los virus no poseen citoplasma, ribosomas, ni otros organelos membranosos. Tampoco tienen la capacidad de dividirse autónomamente ni de sintetizar por sí mismos sus propios componentes. Por este motivo se comportan como **parásitos intracelulares estrictos**, es decir, infectan células vivas para aprovechar su maquinaria metabólica. Esto les permite realizar la síntesis de sus componentes y replicarse generando una progenie viral. Por lo tanto, cuando un virus se encuentra fuera de la célula, es metabólicamente inerte, ya que no tiene la maquinaria para realizar reacciones químicas.

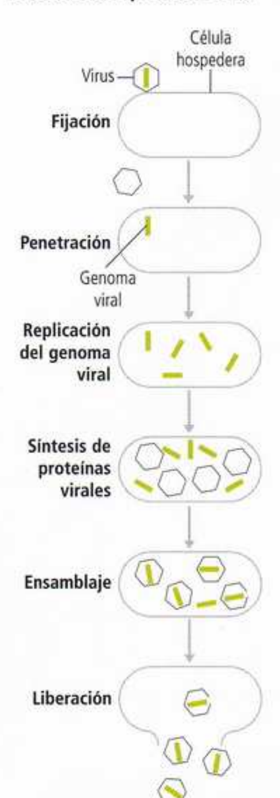
La mayoría de los virus posee un rango de huésped muy estrecho, por lo que se han clasificado en tres grupos, de acuerdo a las células de los organismos que parasitan, se reconocen así: **virus animales**, **virus vegetales** y **bacteriófagos** los cuales atacan a células animales, células vegetales y bacterias, respectivamente.


Bacteriófago.
Los bacteriófagos poseen una cabeza icosaédrica y una cola que participa en la fijación del virus a la superficie bacteriana permitendo la penetración del ácido nucleico en la bacteria.

Evolución de los virus

Actualmente no existe consenso respecto al origen de los virus. Una hipótesis plantea que los virus son una forma primitiva y simple previa al origen de las células, mientras que la otra hipótesis defiende la idea de que los virus son formas simplificadas que derivan de las células. El descubrimiento de los enormes y complejos mimivirus (virus que infectan amebas) sugiere que los virus tendrían un origen precelular y que ellos habrían sido los primeros en dar el trascendental paso evolutivo de reemplazar el ARN (material genético primitivo) por ADN como material hereditario.

Fases de la replicación viral



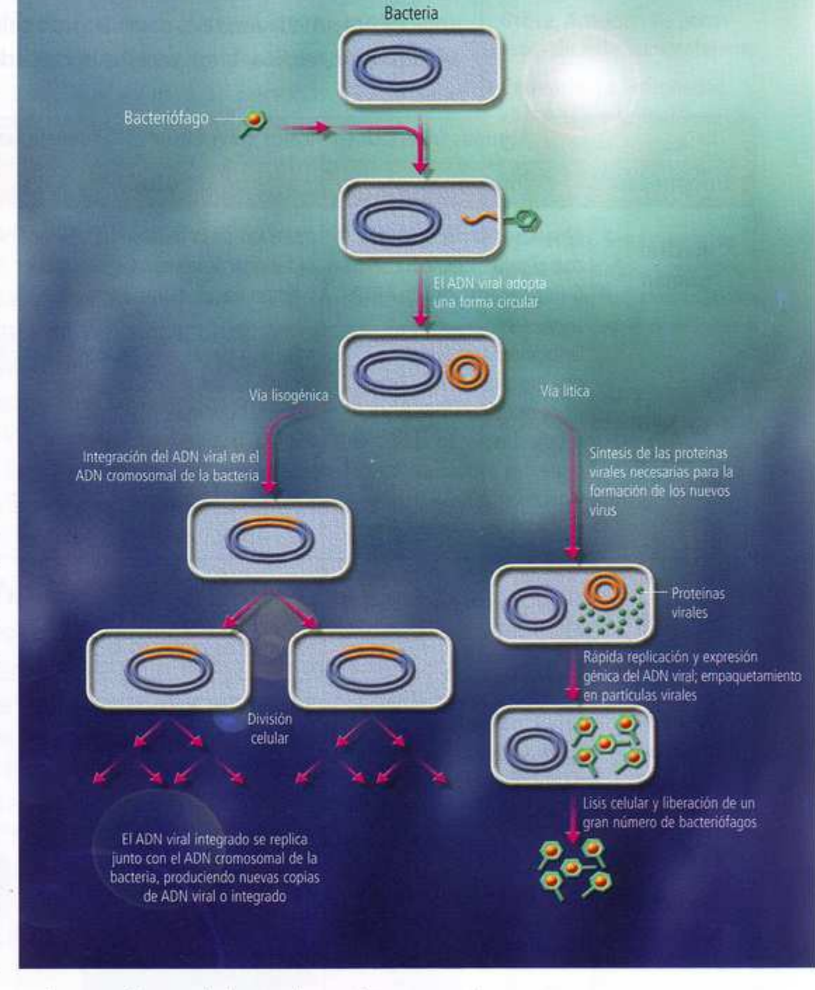
El ciclo viral

Los virus necesitan infectar a una célula para reproducirse. De ella obtienen la materia y la energía para sintetizar nuevos ácidos nucleicos y proteínas. Durante el proceso de **replicación viral** o **ciclo viral** que ocurre dentro de **una célula eucarionte** infectada por virus, se distingue la siguiente secuencia de eventos:

1. **Fijación o adsorción**. Unión del virus a la membrana plasmática de la célula hospedera.
2. **Penetración**. El virus o su material genético ingresa al citoplasma celular.
3. **Denudamiento**. El material genético del virus se libera en el citoplasma celular por acción de enzimas lisosomales.
4. **Biosíntesis de macromoléculas**. Replicación del genoma viral y síntesis de las proteínas virales usando la maquinaria metabólica celular. Dependiendo de la naturaleza del ácido nucleico viral (ADN o ARN) existen dos formas distintas de replicación del genoma vírico:
   - **Replicación en los virus con ADN**. Ocurre de manera análoga al proceso de replicación del ADN celular.
   - **Replicación en los virus con ARN**. El ARN que ingresa a la célula es replicado por una ARN polimerasa viral. Luego, el genoma viral es transcrito en ARN mensajeros, los cuales son traducidos por ribosomas de la célula, generando las proteínas estructurales del virus y la enzima ARN polimerasa viral.
5. **Ensamblaje**. Se asocia el material genético viral con sus proteínas estructurales conformando la nucleocápsula.
6. **Liberación**. El virus sale de la célula infectada.

Retrovirus. Son virus con ARN que poseen una enzima denominada **transcriptasa reversa** que lleva a cabo la síntesis de ADN viral a partir de ARN.

El ciclo viral en los bacteriófagos



Los bacteriófagos o fagos son virus que infectan específicamente bacterias. La importancia de este tipo de virus radica en su participación activa en el fenómeno de transferencia genética entre bacterias, siendo los principales responsables del incremento exponencial de la resistencia a los antibióticos y de la transferencia de factores de virulencia.

Los fagos presentan principalmente dos formas de replicación: la **vía lítica** y la **vía lisogénica**. En el primer caso, los fagos infectan una célula bacteriana y, luego de multiplicarse dentro de ella, conducen a la ruptura (lisis) de la célula infectada liberando los fagos al medio circundante. En la vía lisogénica, el fago no destruye la célula infectada, pero su genoma se integra dentro del ADN bacteriano, permaneciendo en un estado latente denominado **profago**. Durante este período, existe una mínima expresión de los genes virales, hasta que un estímulo gatilla la separación del profago y el comienzo de un ciclo lítico típico.

Número de fagos en la naturaleza. Actualmente se estima que existen 10^{31} partículas virales en la tierra replicándose constantemente; la gran mayoría de estos virus son fagos. Por ejemplo; en el agua de mar existen aproximadamente 10^{3} fagos por mililitro.

Enfermedades causadas por virus

Los virus pueden ser importantes patógenos para el ser humano. Una serie de enfermedades, tales como la gripe o influenza, el resfrío común, el sarampión, el sida, entre otras, son causadas por virus.

Algunas infecciones virales frecuentes en el ser humano			
Enfermedad	**Virus causante**	**Efectos**	**Vía de transmisión**
Resfrío común	Rhinovirus (virus de ARN con cápside icosaédrica). Coronavirus (virus de ARN).	Infección de la mucosa nasal y de la faringe. Síntomas: obstrucción y goteo nasal, estornudos.	A través del aire.
Gripe o influenza	Orthomixovirus (virus de ARN con envoltura). Son tres tipos principales: A, B y C, subdivididos según el tipo de proteínas hemaglutinina (H) y neuroaminidasa (N) ubicadas en su superficie.	Infección de las vías respiratorias. Síntomas: cefalea, fiebre alta, malestar general, vómitos, diarrea, dolor de garganta, tos.	A través del aire.
Sarampión	Paramixovirus (virus de ARN con envoltura).	Infección de las vías respiratorias y de otros tejidos. Síntomas: fiebre, tos, manchas rojas en la piel.	A través del aire.
Varicela y Herpes Zoster	HHV3: Herpesvirus humano 3 (virus de ADN con envoltura y cápside icosaédrica).	Infección del tracto respiratorio y diseminación por vía sanguínea. Síntomas: erupciones cutáneas en todo el cuerpo.	A través del aire.
Síndrome pulmonar	Virus Hanta (virus de ARN, con envoltura y cápside helicoidal).	Infección pulmonar. Síntomas: dificultad para respirar, fiebre, dolor de cabeza, dolores abdominales, dolores musculares, náuseas, vómitos.	A través de un vector (ratón silvestre).
Hepatitis A	Virus hepatitis A (virus de ARN con cápside icosaédrica).	Infección del hígado. Síntomas: fiebre, color amarillento en la piel y ojos, fatiga.	A través del agua y los alimentos.

Síndrome pulmonar por virus Hanta. Esta enfermedad se contrae a través del contacto directo con ratones silvestres que portan el virus Hanta o al respirar aire contaminado con excretas, saliva u orina de estos animales. En Chile, el ratón colilargo (*Oligoryzomys longicaudatus*) es el principal vector del virus y su distribución geográfica se extiende desde el desierto de Atacama hasta el extremo austral de la XI Región de Aysén.

Pandemias virales

En la historia humana han ocurrido importantes pandemias, una de ellas fue la **gripe española** ocurrida entre los años 1918 y 1919. Esta gripe fue causada por el **virus de la influenza del tipo A H1N1** y tuvo una mortalidad cercana a los 30 millones de personas. No se sabe exactamente el lugar donde se originó esta gripe, pero se expandió rápidamente por todo el mundo. Debido a que España fue una de las naciones más afectadas, el nombre de esta pandemia pasó a la posteridad con dicho gentilicio. Recientemente, un grupo de científicos logró reconstruir la cepa vírica original causante de la pandemia de gripe a partir de muestras de tejidos infectados que se conservaron desde esa época. En el laboratorio, se pudo comprobar que la cepa reconstruida era extremadamente agresiva, resultados que concordaron plenamente con el conocimiento histórico que se tenía sobre los efectos de este virus en los seres humanos. El objetivo de reconstruir artificialmente este virus fue descubrir cuáles son los elementos genéticos que le dan patogenicidad y con ello encontrar las formas de controlarlo en el caso de que ocurra una nueva pandemia.

Actualmente, la **variedad A H5N1 del virus de la influenza**, es una de las cepas víricas con mayor potencial pandémico en el ser humano, es decir, con capacidad de propagarse rápidamente entre las personas. Este virus causa en las aves la **gripe aviar** y tiene la capacidad de transmitirse desde las aves hacia los mamíferos. En los seres humanos la infección con el virus A H5N1 causa síntomas similares a una gripe común, tales como fiebre alta, tos, dolor de cabeza, y en los casos más graves una neumonía que puede llevar a la muerte. El potencial pandémico de esta cepa radica en su gran capacidad para mutar y en la posibilidad de intercambiar su material genético con otras cepas de virus que causan gripe en humanos. Esto último permitiría que el virus se transmitiera fácilmente entre las personas favoreciendo el surgimiento de una nueva pandemia de gripe.



La gripe aviar afecta a las aves, quienes transmiten el virus a distintas especies de mamíferos, entre ellos el ser humano.

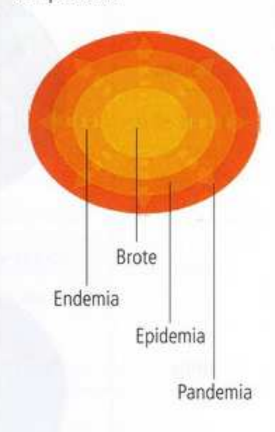
Grados de propagación de las enfermedades infecciosas.

Brote. Aparición de pocos casos de individuos enfermos.

Endemia. La enfermedad es habitual y se mantiene normalmente en baja frecuencia durante largos períodos.

Epidemia. Surgen muchos casos de individuos enfermos en poco tiempo, extendiéndose por varias regiones de una zona geográfica.

Pandemia. La epidemia se expande por amplias zonas del planeta.



17 Enfermedades de transmisión sexual

Las **enfermedades de transmisión sexual** (**ETS**), o también llamadas **enfermedades venéreas**, son infecciones adquiridas principalmente mediante contacto sexual. Las ETS son causadas por distintos tipos de microorganismos, entre los que se encuentran bacterias, virus, hongos y protozoos. Son las infecciones de mayor frecuencia a nivel mundial y pueden tener graves consecuencias para la salud e incluso ser mortales. Todas las ETS **se previenen** con un control responsable de la actividad sexual, como la abstinencia sexual, poseer una pareja única, uso de preservativos, controles médicos y una higiene adecuada.

Algunas de las ETS más comunes y conocidas se describen en el siguiente cuadro:

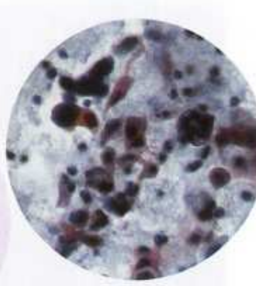
Enfermedad	Microorganismo causante	Descripción de la enfermedad
Gonorrea	*Neisseria gonorrhoeae* (bacteria)	Afecta principalmente las mucosas del tracto urogenital y el recto, las cuales secretan pus. En los hombres los síntomas son dolor intenso al orinar y secreción de pus a través del pene. En las mujeres, la infección afecta el cuello uterino. En estado avanzado puede causar la enfermedad inflamatoria pélvica, que se caracteriza por dolor abdominal, vómitos, fiebre y náuseas. Tratamiento: Antibióticos. Si no es tratada inmediatamente, causa esterilidad.
Sífilis	*Treponema pallidum* (bacteria)	En el estadio más temprano aparece una úlcera indolora en el sitio de infección llamada **chancro**. Luego, sigue una etapa de latencia asintomática, en que la bacteria puede invadir otros órganos, hasta provocar daño en el sistema nervioso (neurosífilis) o cardiovascular (sífilis cardiovascular). Tratamiento: Antibióticos.
Tricomoniasis	*Tricomonas vaginalis* (protozoo)	Inflamación de la mucosa urogenital. Sus síntomas son secreción vaginal amarillenta de olor desagradable y enrojecimiento y picazón en la zona de la vagina. Los hombres, por lo general, no presentan síntomas pero pueden contagiar a su pareja durante una relación sexual. Tratamiento: Antiprotozoarios.

Enfermedad	Microorganismo causante	Descripción de la enfermedad
Herpes genital	Virus del herpes simple tipo 2 (VHS-2)	Aparición de ampollas dolorosas, que en hombres brotan en el pene y en las mujeres en la vulva o en la vagina. Tratamiento: Administración de Aciclovir, fármaco que inhibe la replicación del ADN viral, y que ayuda a la cicatrización de las ampollas pero que no elimina al virus del cuerpo.
Verrugas genitales	Virus del papiloma humano o papiloma virus (VPH).	Aparecen protuberancias blandas, rojizas y de superficie áspera que suelen formarse en el pene, en la pared de la vagina, en el cuello del útero, la vulva y en el recto. En las mujeres algunos tipos de papilomavirus infectan el tejido del cuello del útero induciendo cambios celulares que provocan **cáncer cervicouterino** (**cáncer del cuello del útero**).
Hepatitis B	Virus de la hepatitis B.	Es una infección de las células del hígado. Los principales síntomas de la hepatitis B son: inflamación del hígado, fatiga, náuseas, vómitos, pérdida del apetito, color amarillento de la piel y orina oscura. Por lo general, las personas infectadas con esta enfermedad eliminan el virus de su cuerpo en un lapso de 6 meses. Sin embargo, algunos individuos desarrollan hepatitis crónica lo que puede provocar cirrosis hepática y cáncer del hígado.

Papanicolau y cáncer cervicouterino. El Papanicolau o Pap es un examen simple e indoloro que todas las mujeres deberían realizarse una vez al año, luego de que han iniciado su vida sexual o al cumplir 21 años. Para esta prueba se extrae una muestra de células del cuello uterino que se observan al microscopio, para detectar alteraciones en su forma o tamaño que pudieran indicar la presencia de células cancerosas. Este examen es una herramienta muy eficaz en la detección precoz de cáncer cervicouterino lo que puede salvar la vida de la mujer afectada.



Células del cuello del útero normales.



Células del cuello del útero cancerosas.

Las inmunodeficiencias

Las **inmunodeficiencias** son alteraciones de uno o más de los componentes del sistema inmune que generan una disminución de su capacidad de defensa frente a los distintos agentes agresores. Las inmunodeficiencias pueden ser clasificadas según su causa en **inmunodeficiencias primarias** o **congénitas** e **inmunodeficiencias secundarias** o **adquiridas**.

- **Inmunodeficiencias primarias o congénitas**. Corresponden a enfermedades hereditarias resultado de una alteración a nivel genético en alguno de los componentes del sistema inmune y, por lo tanto, se padecen desde el nacimiento (de ahí su denominación de congénitas). Este tipo de inmunodeficiencias se puede clasificar, a su vez, en: aquella que afecta a los linfocitos T, la que afecta a los linfocitos B y la que altera mecanismos inespecíficos de defensa, como el sistema de complemento y macrófagos. Un tipo de inmunodeficiencia primaria importante es la **inmunodeficiencia combinada severa**, cuya causa es una mutación en el gen que codifica para el receptor de interleuquina 2, una citoquina fundamental para la proliferación de linfocitos. Esta mutación impide el desarrollo tanto de linfocitos T como de linfocitos B, generando un déficit en las defensas celulares y humorales del paciente.

- **Inmunodeficiencias secundarias o adquiridas**. En este tipo de inmunodeficiencias no existe un defecto genético del sistema inmune, y por lo tanto surge como resultado de enfermedades o condiciones adquiridas durante la vida del individuo, es decir, pueden ser inducidas secundariamente por estados patológicos como el cáncer, enfermedades metabólicas, enfermedades infecciosas, depresión o estrés. También pueden ser consecuencia de tratamientos farmacológicos, tratamientos antitumorales como la quimioterapia y la radioterapia, cirugías o traumas que provocan una disminución de la actividad del sistema inmune y, por último, pueden ser secundarias a condiciones fisiológicas como, por ejemplo, el envejecimiento. En la actualidad, la inmunodeficiencia secundaria más importante, por sus características causales, clínicas y epidemiológicas, es el **síndrome de inmunodeficiencia adquirida** (**sida**).

Mujer enferma de sida.

GettyImages/Imagegroup.



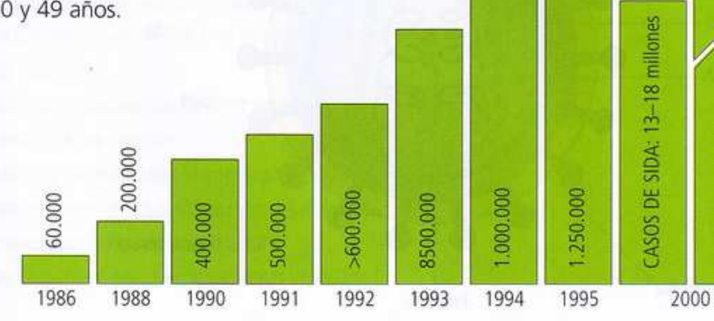
El síndrome de inmunodeficiencia adquirida (sida)

El sida fue reconocido como una nueva enfermedad del ser humano en el año 1981. Los primeros casos se encontraron en hombres homosexuales jóvenes que desarrollaron enfermedades particularmente raras como la neumonía causada por *Pneumocystis carinii*, un protozoo generalmente inofensivo, y el sarcoma de Kaposi, un tipo de cáncer de piel. Además, todos estos pacientes mostraban una cantidad anormalmente baja de linfocitos T colaboradores. De esta forma, los signos y síntomas que se detectaron en estas personas fueron asociados a una anomalía adquirida por el sistema inmunitario, específicamente una progresiva y severa inmunodeficiencia, de ahí que para referirse a esta enfermedad se utilizó el nombre de **síndrome de inmunodeficiencia adquirida**. En el año 1983 se identificó como agente causal de esta enfermedad el **virus de la inmunodeficiencia humana** (**VIH**), el cual se transmite fundamentalmente por contacto sexual y por la sangre.

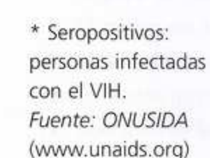
En la actualidad, la infección por VIH y el sida constituyen una epidemia de magnitud mundial, propagándose incluso en comunidades inicialmente poco afectadas por la epidemia. Se estima que a nivel mundial aproximadamente 40 millones de personas tienen VIH/sida; de ellos **2,5 millones corresponden a menores de 15 años de edad**. El continente más afectado es África, con alrededor de 28 millones de personas con VIH/sida, en donde existen países con más del 30% de su población adulta infectada por el VIH. En América Latina existen aproximadamente 1,7 millones de personas con VIH/sida.

En Chile, el primer caso de sida se notificó en 1984 y hasta el año 2005, había 15.870 personas con VIH/sida, la mayoría de los casos se concentra en la Región Metropolitana. La proporción de hombres afectados es mucho mayor que la de mujeres y el principal grupo de edad infectado es entre los 20 y 49 años.

Evolución de los casos declarados de sida a nivel mundial







* Seropositivos: personas infectadas con el VIH.
Fuente: ONUSIDA (www.unaids.org)

Variantes del VIH.
Actualmente se conoce la existencia de dos cepas o tipos de VIH. Uno de ellos, el VIH-1, es el más extendido mundialmente y de mayor potencial patogénico. La otra cepa, el VIH-2, es menos virulento y se ha detectado en poblaciones de África oriental. Además, dentro de la cepa VIH-1 se han descubierto variantes genéticamente relacionadas que son resultado de la alta tasa de error de la actividad de la enzima transcriptasa reversa.
Las variantes del VIH-1 presentan modificaciones en sus glicoproteínas de envoltura, las cuales actúan como antígenos de superficie. Lo anterior es uno de los motivos que hacen tan difícil encontrar una vacuna contra el virus del sida.

El virus de la inmunodeficiencia humana

El **virus del sida** o **VIH** (**virus de la inmunodeficiencia humana**) se clasifica dentro de la familia Retroviridae, perteneciendo a la subfamilia de los Lentivirus.

El VIH es capaz de afectar severamente las defensas del organismo, ya que parasita principalmente a los **linfocitos T colaboradores**, produciendo su disminución e incluso la casi completa desaparición de este tipo celular fundamental para el sistema inmune, causando la muerte del paciente por complicaciones derivadas de la agresión de múltiples patógenos para los cuales ya no hay defensas.

Estructura del VIH

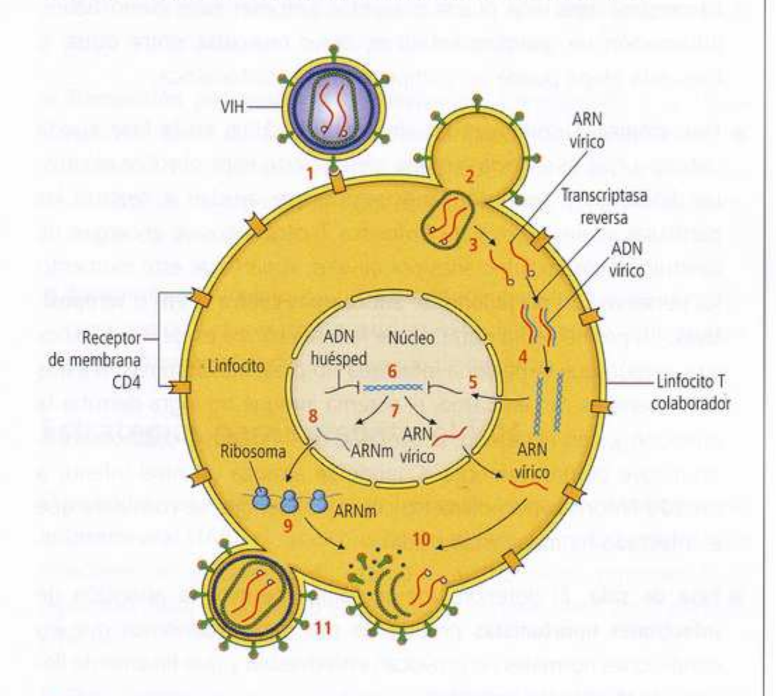
Al observar el VIH en el microscopio electrónico, se distingue una **cápside** con forma de cono compuesta por la proteína p24. Dentro de esta cápside, se encuentra el material genético del virus formado por dos hebras de **ácido ribonucleico** (**ARN**), asociadas a la enzima **transcriptasa reversa** (responsable de sintetizar el ADN, que se integrará al genoma de la célula infectada, a partir del ARN viral). El tamaño del genoma del VIH es de 9,8 kilobases (9.800 nucleótidos), y contiene básicamente tres genes estructurales y 8 genes reguladores. Junto a la transcriptasa se encuentran también copias de la enzima integrasa y proteasa. La cápside se halla recubierta por una **envoltura** formada por una capa proteica interna (proteína p17) y por una capa lipídica donde se insertan las glicoproteínas (gp) de envoltura: la glicoproteína 41 (gp41) y la glicoproteína 120 (gp120). Esta última contiene el sitio de unión al receptor de los linfocitos T.

Estructura del VIH.

Bicapa lipídica
gp120
gp41
p17
ARN
Cápside
p24
Transcriptasa reversa
Integrasa
Proteasa

Ciclo de replicación del VIH en el ser humano

El VIH infecta a las células del sistema inmune, de las cuales su principal blanco son los linfocitos T colaboradores, debido a que estos en su membrana poseen una gran cantidad de proteínas receptoras llamadas **receptores CD4** que se unen a la proteína gp120 presente en la envoltura del virus, lo que constituye el inicio de la infección viral.

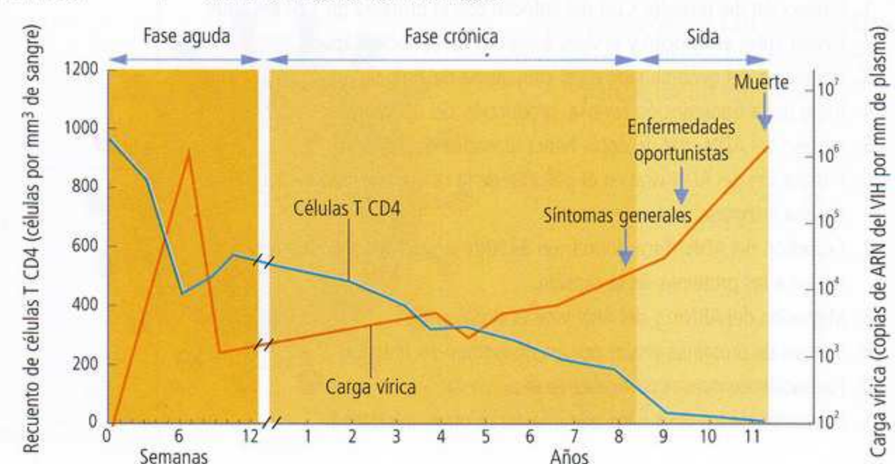


1. Interacción del receptor CD4 del linfocito con la proteína gp 120 del virus.
2. Fusión entre el linfocito y el virus e ingreso de la nucleocápside.
3. Liberación del genoma viral en el citoplasma del linfocito.
4. Inicio de la transcripción reversa: producción del ADN viral.
5. Ingreso del ADN viral de doble hebra al núcleo del linfocito.
6. Integración del ADN viral en el genoma de la célula huésped mediante la enzima integrasa viral.
7. Expresión del ADN vírico: formación de ARN viral y ARN mensajero que da origen a las proteínas de la cápside.
8. Migración del ARNm y del ARN viral al citoplasma.
9. Síntesis de proteínas virales por los ribosomas del linfocito.
10. Formación de nuevas partículas virales.
11. Liberación de los virus hijos que infectarán otros linfocitos T.

Fases del desarrollo de la infección por VIH

La infección por VIH evoluciona en el tiempo en las siguientes fases:

- **Fase aguda**. Se manifiesta luego de adquirida la infección y puede durar hasta 3 meses. Durante esta fase aumenta el número de partículas virales y disminuye la cantidad de linfocitos T colaboradores. La persona infectada puede presentar síntomas tales como fiebre, inflamación de ganglios linfáticos, dolor muscular, entre otros; o bien esta etapa puede ser completamente asintomática.
- **Fase crónica**. Disminuyen los síntomas descritos en la fase aguda debido a que el sistema inmune ejerce cierto control sobre el virus. Los linfocitos B producen anticuerpos que ayudan a destruir las partículas virales libres y los linfocitos T citotóxicos se encargan de destruir las células infectadas por el virus. A partir de este momento las personas son **portadoras de anticuerpos contra el VIH** o **seropositivas**. En promedio, la duración de la fase crónica es de 8 a 10 años y es común que la persona infectada no presente síntomas, o estos sean menores. Sin embargo, el sistema inmune no logra derrotar la infección y, con el tiempo, la cantidad de linfocitos T colaboradores disminuye progresivamente. Cuando se alcanza un nivel inferior a los 200 linfocitos por milímetro cúbico de sangre, se considera que el infectado ha manifestado sida.
- **Fase de sida**. El deterioro inmunológico permite la aparición de **infecciones oportunistas** producidas por microorganismos que en condiciones normales no provocan enfermedad y que finalmente llevan a la muerte del individuo.



Fuente: Adaptado de Anthony Fanciental, *en Annals of Internal Medicine. Vol. 124. 1996.*

Transmisión del VIH

El VIH se transmite de una persona a otra principalmente de tres formas:

- **Transmisión sexual**. Es la principal forma de transmisión del VIH. El virus está presente en las secreciones vaginales y en el semen de las personas infectadas. Al mantener relaciones sexuales se producen microlesiones en las mucosas genitales lo que permite que el VIH entre en contacto con la sangre del receptor sano.
- **Transmisión por sangre y sus derivados**. Corresponde a la transmisión a través de la inoculación de sangre o hemoderivados contaminados. Por ejemplo, la utilización de una misma aguja en los usuarios de drogas intravenosas es la forma más frecuente de transmisión de este tipo.
- **Transmisión madre-hijo**. Se produce principalmente durante el embarazo, debido a que el virus puede atravesar la placenta. También puede ser durante el parto o el período de lactancia.

Estrategias para combatir el VIH

El principal mecanismo para hacer frente al VIH ha sido el **tratamiento antirretroviral (TAR)**, el cual consiste en el uso de medicamentos que interfieren en el proceso de reproducción del virus, suprimiendo la replicación viral y alargando el período de supervivencia de la persona infectada.

El TAR combina el uso de 3 drogas antirretrovirales. En la actualidad existen 20 drogas antirretrovirales aprobadas para su uso, que se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: **inhibidores nucleótidos de la transcriptasa reversa**, se unen a la hebra de ADN e impiden que otros nucleótidos se agreguen; **inhibidores no nucleótidos de la transcriptasa reversa**, actúan por unión a sitios de actividad esencial de la transcriptasa inhibiendo su función; **inhibidores de la proteasa**, actúan uniéndose al sitio catalítico de la enzima proteasa provocando la liberación de viriones inmaduros no infectantes, e **inhibidores de la fusión**.

En muchas oportunidades, es necesario efectuar cambios en el tratamiento contra el VIH, por ejemplo, en los casos en que se presenta **resistencia viral** derivada de las altas tasas de replicación y mutación del VIH.

Prevención del sida. Debido a que el contacto sexual es la principal vía de transmisión del VIH, la mejor forma de prevenir el contagio es la **abstinencia sexual** o, en caso contrario, **mantener una pareja sexual única**, y **usar correctamente el preservativo**.






Los grupos sanguíneos ABO

El **sistema ABO** constituye una clasificación sanguínea de gran importancia en los seres humanos. Este sistema se basa en la presencia o ausencia de moléculas llamadas **antígenos** en la superficie de los glóbulos rojos y en la de **anticuerpos** en el plasma sanguíneo.

A partir de los antígenos que poseen los glóbulos rojos en su superficie se reconocen cuatro grupos sanguíneos: **A**, **B**, **AB** y **O**.

Las personas con sangre del **grupo A** tienen glóbulos rojos que en su superficie expresan antígenos de tipo A y en el suero de su sangre poseen anticuerpos contra los antígenos de tipo B (anticuerpos anti B). Los individuos con sangre del **grupo B** tienen la combinación contraria, antígenos de tipo B y anticuerpos anti A. Las personas del **grupo O** carecen de antígenos en la superficie de sus glóbulos rojos (de ahí que se denomine grupo "O" y no "cero", pues procede de la palabra alemana *ohne* que significa sin) pero poseen anticuerpos contra ambos tipos de antígenos (anticuerpos anti A y anticuerpos anti B), mientras que quienes pertenecen al **grupo AB** expresan ambos antígenos en la superficie de los glóbulos rojos y no tienen ninguno de los dos anticuerpos en el plasma.

El conocimiento sobre las combinaciones de antígenos y anticuerpos en cada grupo sanguíneo ha permitido la realización de **transfusiones de sangre compatibles**, es decir, evitando que los anticuerpos del receptor reaccionen frente a los antígenos del donante, lo que provoca la **aglutinación** de los glóbulos rojos y la obstrucción de la circulación.



La imagen muestra una prueba de identificación del grupo sanguíneo. Esta se debe realizar al donante y al receptor antes de una transfusión sanguínea. Las muestras de sangre en los extremos del portaobjetos han sufrido aglutación de los glóbulos rojos.

Fenotipo	Genotipo (alelos presentes)	Antígenos específicos de los glóbulos rojos	Anticuerpos en el plasma sanguíneo	Reacción con antígenos en una transfusión	
				Antígeno A	Antígeno B
O	00	—	Anticuerpo anti A Anticuerpo anti B	Sí	Sí
A	AA, 0A	A	Anticuerpo anti B	No	Sí
B	BB, 0B	B	Anticuerpo anti A	Sí	No
AB	AB	A, B	—	No	No

El grupo O, también denominado **dador universal**, puede ser transfundido a personas que posean cualquier grupo ABO debido a que sus glóbulos rojos no poseen antígeno A ni antígeno B. Sin embargo, quienes pertenecen al grupo O solamente pueden recibir sangre de personas del mismo grupo debido a que poseen antígenos anti A y anti B.

Por otro lado, las personas del grupo AB o **receptor universal**, pueden recibir sangre de todos los grupos ABO puesto que su plasma sanguíneo no contiene anticuerpos anti A ni anticuerpos anti B, aunque solamente pueden donar sangre a personas del mismo grupo debido a que poseen los dos tipos de antígenos (A y B).

No se conoce con exactitud por qué las personas nacen con estos anticuerpos anti A y anti B sin que antes se hayan expuesto a los antígenos contra los cuales actúan. Una hipótesis que respondería esta pregunta es que algunos antígenos bacterianos son bastante similares a los antígenos A y B, y que los anticuerpos creados contra la bacteria son los que reaccionan con los glóbulos rojos incompatibles.

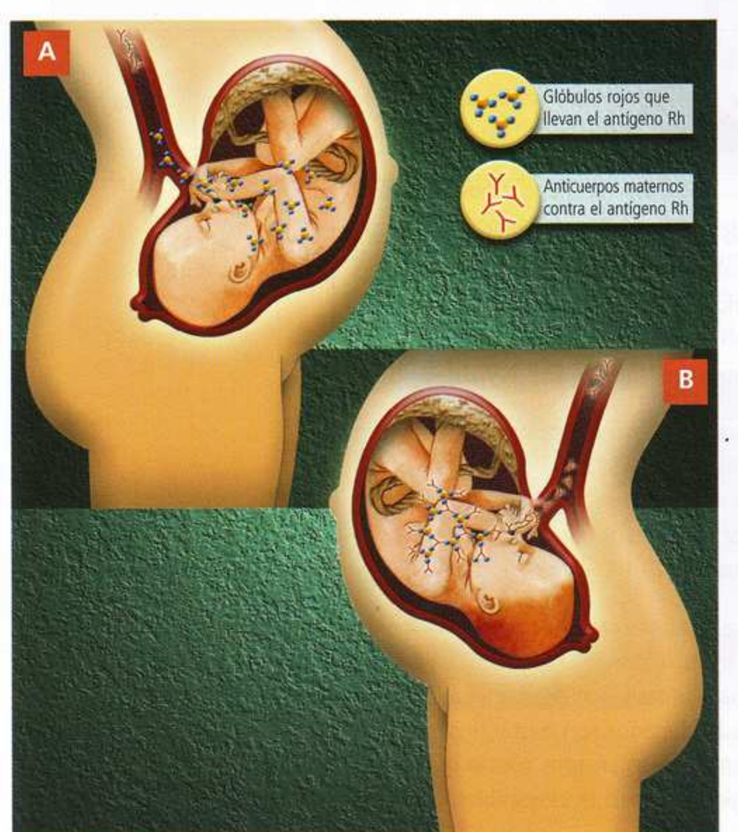
Genética de los grupos sanguíneos. Los grupos sanguíneos son heredados de los padres y son controlados por un solo gen con tres alelos: O, A y B. Los alelos A y B son codominantes entre ellos y dominantes sobre el alelo O que es el alelo recesivo.

El factor Rh

Luego del descubrimiento del sistema ABO, se han identificado otros antígenos en la superficie de los glóbulos rojos. Estos también se deben tener en cuenta en el momento de realizar una transfusión sanguínea, reduciendo la posibilidad de rechazo por incompatibilidad. Entre estos antígenos se encuentra el **factor Rh** descubierto en los eritrocitos de un tipo de mono, el mono *rhesus*.

Dependiendo de la presencia o ausencia del factor Rh, las personas se clasifican como Rh positivo (Rh+) o Rh negativo (Rh-), respectivamente. En condiciones normales, las personas no presentan anticuerpos contra este antígeno en el plasma.

Eritroblastocis fetal. **A**. Término del primer embarazo. **B**. Segundo embarazo.



Incompatibilidad sanguínea durante el embarazo

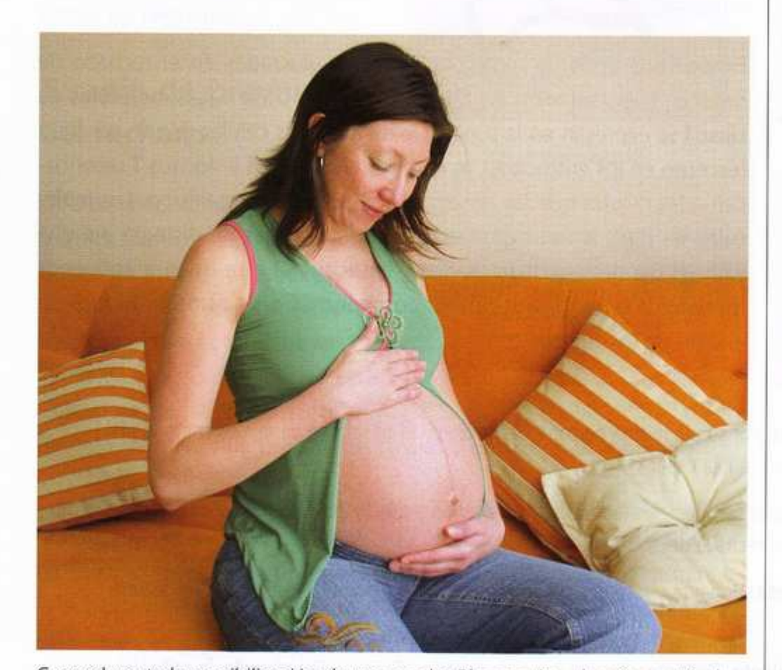
El factor Rh tiene un interés clínico especial dada su relación con la **enfermedad hemolítica del recién nacido** o **eritroblastosis fetal**. Este problema se produce cuando una madre Rh negativo concibe un hijo Rh positivo. Durante los últimos meses del embarazo existe la posibilidad de que parte de los glóbulos rojos del feto pasen a la circulación materna. Como consecuencia de esto, el factor Rh presente en los eritrocitos fetales es reconocido como un elemento extraño por el sistema inmunológico de la madre, lo que lleva a la producción de **anticuerpos anti factor Rh** para combatir contra los glóbulos rojos que no son propios. Entonces, estos anticuerpos pueden atravesar la placenta y destruir los eritrocitos del feto.

La **sensibilización** de una madre RH negativo al factor Rh de los eritrocitos fetales también puede ocurrir durante el parto cuando la sangre fetal y materna se ponen en contacto a través de pequeñas lesiones que se forman en las mucosas genitales y en la piel del bebé.

Por lo tanto, el riesgo de incompatibilidad materno-fetal aumenta en los siguientes embarazos, si es que estos también son Rh positivos. Esto debido a que el sistema inmunológico de la madre guarda los anticuerpos anti Rh para futuros encuentros con el factor Rh en los eritrocitos del hijo, ocurriendo una reacción de incompatibilidad mucho más enérgica durante el segundo embarazo.

La estrategia que se emplea actualmente para evitar la eritroblastocis fetal es inyectar en la madre Rh negativo que ha dado a luz un hijo Rh positivo, un suero que contiene anticuerpos que destruyen los glóbulos rojos Rh positivo que haya en su sangre. Con esto se evita la estimulación del sistema inmune de la madre, es decir, la producción de los anticuerpos. El plazo máximo para inyectar este suero es de 72 horas luego del parto, debido a que después de este tiempo la madre ya ha sido sensibilizada al factor Rh.

Herencia del factor Rh. El factor Rh es heredado de la misma forma que el grupo ABO, con la diferencia de que hay solo dos alelos y el Rh es dominante, con solo dos fenotipos Rh+ y Rh-, siendo este último homocigoto para el gen recesivo.



Generalmente la sensibilización de una madre Rh negativo al antígeno Rh de los eritrocitos del bebé ocurre durante su primer embarazo o durante el parto.

20 Rechazo inmune y trasplantes

El **trasplante de órganos** es un procedimiento quirúrgico utilizado para remplazar uno o más órganos o tejidos enfermos de un individuo por otros sanos provenientes de un donante vivo o fallecido. Un trasplante es exitoso cuando no ocurre una **reacción de rechazo** por parte del organismo receptor. La causa de este rechazo se halla en el sistema inmune del receptor, que reconoce como un elemento extraño al órgano o tejido trasplantado y lo ataca con el fin de eliminarlo del organismo.

El complejo de histocompatibilidad mayor

La reacción de rechazo está relacionada con un grupo de glicoproteínas expresadas en la superficie de todas las células de los mamíferos, llamadas **moléculas del complejo de histocompatibilidad mayor** o **MHC** (del inglés *major histocompatibility complex*).

El sistema MHC es **altamente polimórfico**, es decir, cada gen que codifica para las proteínas de este complejo posee gran cantidad de alelos (formas distintas para un mismo gen). Así, existe una inmensa variabilidad en la estructura de las MHC y cada individuo tiene una combinación característica que es reconocida como propia por su sistema inmune.

Existen dos tipos de moléculas MHC involucradas en el rechazo de órganos trasplantados: las MHC de clase I y clase II. Las **moléculas de clase I** se expresan en la superficie de todas las células de un individuo (excepto en los eritrocitos), lo que permite que los linfocitos T reconozcan a las células que las poseen como parte del organismo. Las **moléculas de clase II** son expresadas solo por células del sistema inmune (células dendríticas, macrófagos y linfocitos B) y se unen a antígenos (por ejemplo, antígenos de microorganismos o de otros individuos en el caso de los trasplantes).

Tipos de trasplantes.

Autotrasplante. Donante y receptor son la misma persona. Se utiliza en el trasplante de tejidos como la piel, tejido óseo, vasos sanguíneos y médula ósea.

Isotrasplante. Donante y receptor son gemelos monocigóticos. Debido a que ambos individuos son genéticamente idénticos, se evita totalmente el rechazo del trasplante.

Alotrasplante u homotrasplante. Donante y receptor son individuos de una misma especie pero de distinta constitución genética.

Xenotrasplante o heterotrasplante. Donante y receptor son de especies distintas. Por ejemplo, la utilización de válvulas cardíacas de cerdos en humanos.

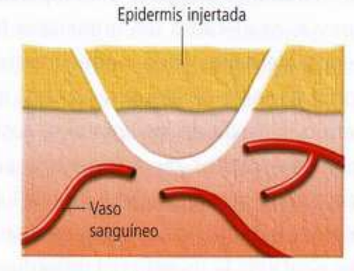
Las moléculas MHC de las células del órgano o tejido trasplantado actúan como antígenos para el sistema inmune del individuo receptor y desencadenan la reacción de rechazo que involucra respuestas tanto humorales como celulares. En la respuesta humoral, los **linfocitos T colaboradores** secretan interleuquina 2 (IL-2) y otras citoquinas, las que inducen la multiplicación de otros linfocitos y estimulan la respuesta de las demás células del sistema inmune, respectivamente. En la respuesta celular, los **linfocitos T citotóxicos** reconocen a las células del órgano trasplantado y las destruyen por contacto directo, y los **linfocitos B** sintetizan anticuerpos específicos contra los antígenos.

Terapia de prevención del rechazo

Para disminuir la probabilidad de rechazo de un trasplante se deben tener en cuenta factores del donante y del receptor. Entre el donante y el receptor debe existir la mayor histocompatibilidad posible, para ello se realizan análisis del tipo de MHC que poseen sus células y del grupo sanguíneo.

Los factores del receptor están relacionados con la respuesta inmune que va a generar contra el transplante. Fundamentalmente, el individuo receptor es sometido a un **tratamiento inmunosupresor** que disminuye la actividad del sistema inmune al detectar un elemento extraño, en este caso, el órgano trasplantado, impidiendo su rechazo. Generalmente estos tratamientos son de por vida.

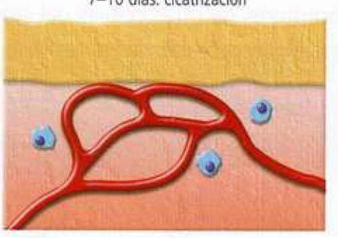
Aceptación de un trasplante



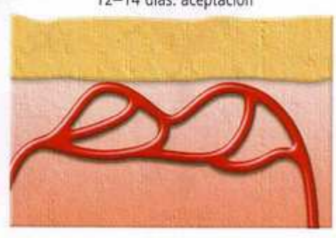
3–7 días: revascularización



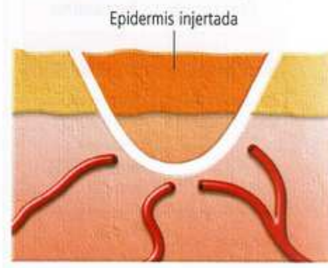
7–10 días: cicatrización



12–14 días: aceptación



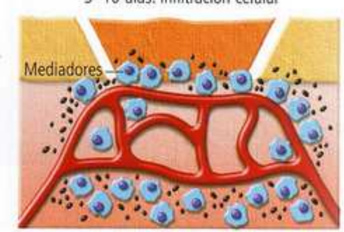
Rechazo de un trasplante



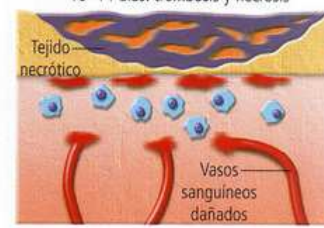
3–7 días: revascularización



3–10 días: infiltración celular



10–14 días: trombosis y necrosis



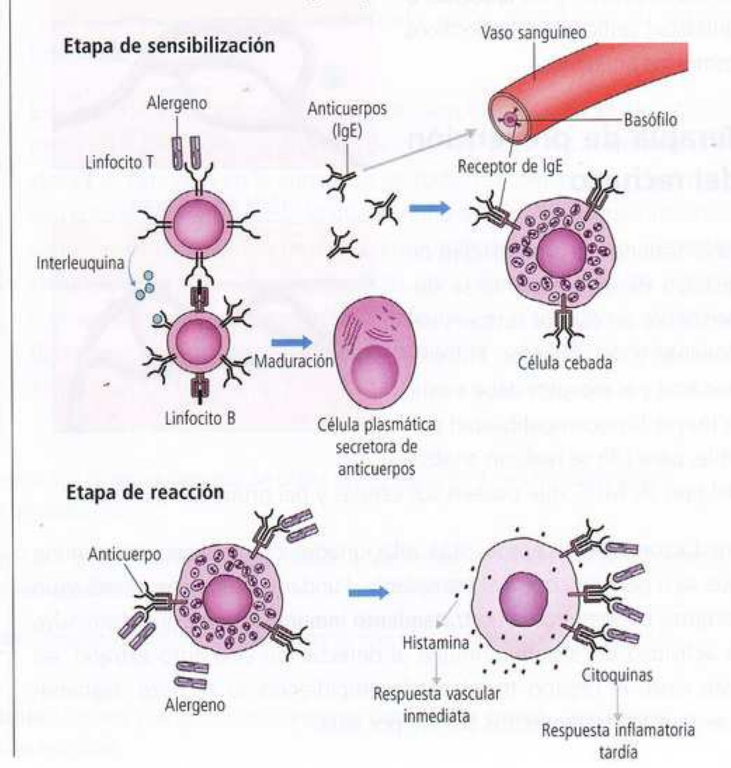
Fases en las que se desarrolla la aceptación y el rechazo de un trasplante.

21 Reacciones alérgicas

Efectos de la histamina	
Efecto	**Síntomas**
Dilatación de los vasos sanguíneos.	Disminución de la presión sanguínea, enrojecimiento de la piel.
Aumento de la permeabilidad de los capilares.	Edema (acumulación local de líquido intersticial).
Contracción de la musculatura lisa bronquial e intestinal.	Dificultad respiratoria, dolor abdominal, calambres, vómitos, diarrea.
Secreción de mucosidades en las vías respiratorias.	Obstrucción de las vías respiratorias.

Las **reacciones alérgicas** o de **hipersensibilidad** son el resultado de respuestas exageradas del organismo frente a ciertos antígenos denominados **alergenos**, que normalmente son inocuos o poco peligrosos, como el polen de algunas plantas, los ácaros presentes en el polvo, el pelo o la caspa de los animales, sustancias contenidas en algunos alimentos y ciertos medicamentos, por ejemplo los antibióticos. Estas reacciones son producidas por células y mediadores moleculares del sistema inmune, los que pueden causar efectos extremadamente graves e incluso la muerte del individuo susceptible.

Las reacciones alérgicas tienen una **etapa de sensibilización** en la cual el sistema inmune del individuo toma contacto por primera vez con el alergeno, y una segunda **etapa de reacción** frente a una nueva exposición al alergeno. En la sensibilización, un determinado alergeno activa los linfocitos T colaboradores, los que, a su vez, inducen la maduración de los linfocitos B en células plasmáticas productoras de anticuerpos del tipo de las IgE específicas para ese alergeno. Las IgE se unen a receptores de otras células del sistema inmune como los **mastocitos** y las **células cebadas** de los tejidos y los **basófilos** de la sangre.



Cuando ocurre un segundo contacto con el alergeno, las moléculas alergenas se unen a las IgE previamente adheridas a los mastocitos, las células cebadas y los basófilos, lo que provoca que estas células se activen y comiencen a secretar una serie de factores moleculares o **mediadores químicos alérgicos** que se encuentran contenidos en gránulos de secreción citoplasmáticos. El más importante de estos mediadores alérgicos es una sustancia vasodilatadora llamada **histamina**. Esta reacción es denominada **hipersensibilidad inmediata**, y su manifestación más severa es el **shock anafiláctico** o **anafilaxis**, que puede causar la muerte del individuo.

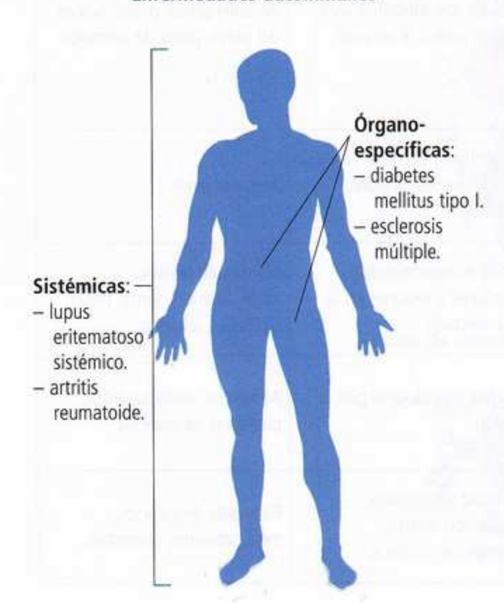
Adicionalmente, las células cebadas y mastocitos producen citoquinas que activan y atraen hacia los tejidos afectados a macrófagos y neutrófilos, los que son responsables de la respuesta de **hipersensibilidad retardada** la que aparece al cabo de 2 a 4 horas después de la exposición al alergeno y que se caracteriza por una inflamación del tejido afectado.

Principales reacciones de hipersensibilidad			
Reacción de hipersensibilidad	**Efecto**	**Síntomas**	**Alergeno**
Asma alérgica.	Inflamación bronquial e hipersecreción de mucosidades.	Crisis de tos, dificultad para respirar, ruidos al respirar.	Aeroalergenos: polen, ácaros del polvo, pelos de animales.
Rinitis alérgica.	Inflamación de la mucosa nasal.	Congestión y secreción nasal abundantes, estornudos, picazón.	Aeroalergenos.
Dermatitis por contacto.	Inflamación de la piel.	Prurito, enrojecimiento, erupciones o lesiones en la zona afectada.	Plantas, alimentos, medicamentos, lanas, fibras sintéticas, jabones.
Urticaria.	Erupción cutánea.	Ronchas rojizas en la piel, picazón.	Alimentos, medicamentos, picaduras de insectos.
Shock anafiláctico.	Vasodilatación generalizada, constricción de las vías respiratorias.	Dificultad respiratoria, hipotensión arterial, insuficiencia cardiaca.	Picaduras de insectos, medicamentos, alimentos.

22 Autoinmunidad

El sistema inmune, junto al sistema nervioso y endocrino, está encargado de mantener el equilibrio del medio interno u homeostasis. En condiciones normales, el sistema inmune es capaz de reconocer moléculas extrañas o ajenas al organismo y crear anticuerpos contra ellos. Así, el organismo tiene mecanismos de **autotolerancia** que le permiten diferenciar los elementos propios de los ajenos y evitar que se produzca una respuesta contra nuestro propio cuerpo, también llamada **autorreactividad**. Sin embargo, eventualmente, los mecanismos de autotolerancia pueden fallar, produciéndose una serie de **enfermedades autoinmunes** las que son provocadas por autoantígenos, linfocitos autorreactivos y autoanticuerpos, que pueden causar un gran daño a los tejidos y órganos propios.

Los **autoantígenos** son moléculas del propio organismo que provocan una respuesta de autoinmunidad. Los **linfocitos autorreactivos** no son capaces de distinguir los antígenos foráneos de las moléculas propias. Es así como los **linfocitos B autorreactivos** producen anticuerpos específicos contra moléculas que pertenecen al organismo (**autoanticuerpos**), que finalmente causan un daño orgánico en uno o más sistemas produciendo la enfermedad de autoinmunidad. También existen **linfocitos T autorreactivos**.



Las enfermedades autoinmunes afectan entre el 2 al 5% de la población humana. Son enfermedades crónicas que ocasionan un daño progresivo y continuo al paciente. Las enfermedades autoinmunes según el tipo y ubicación del autoantígeno contra el cual se genere la respuesta inmune se clasifican en enfermedades sistémicas u órgano específicas.

- **Enfermedades sistémicas** afectan a diversos órganos y tejidos a la vez, por lo que causan un daño sistémico en el organismo, como, por ejemplo, el lupus eritematoso sistémico y la artritis reumatoide.

- **Enfermedades órgano–específicas** se genera una respuesta inmune restringida contra un autoantígeno presente en un solo órgano. A veces el daño provocado produce alteraciones sistémicas por la falla de este órgano y no directamente por la autoinmunidad. Por ejemplo, la diabetes mellitus tipo I (dependiente de insulina).

Enfermedad	Descripción
Lupus eritematoso sistémico	Provocado principalmente por autoanticuerpos anti ADN y autoanticuerpos contra las proteínas presentes en el núcleo celular. Sus síntomas son erupciones cutáneas, artritis y glomerulonefritis, anemia hemolítica, trombocitopenia y alteraciones del sistema nervioso central.
Artritis reumatoide	Es una destrucción inflamatoria progresiva de las articulaciones de las manos, rodillas, hombro, codo y columna, llegando a producir la invalidez del paciente. Los mecanismos de daño articular incluyen tanto a la inmunidad celular como humoral, donde la citoquina proinflamatoria TNF α tiene un rol principal. No se conoce cuál es el autoantígeno específico, aunque se piensa que podría estar relacionado con el colágeno, una proteína estructural presente en las articulaciones.
Diabetes mellitus tipo I	Su causa es la destrucción de las células β de los islotes pancreáticos responsables de producir insulina. Las células que causan este daño son linfocitos T citotóxicos. Además, se han detectado autoanticuerpos anti células β y anti insulina en el suero de estos pacientes. Al afectar el metabolismo de la glucosa, sus efectos pueden manifestarse en otros órganos y comprometer seriamente la salud del paciente.
Esclerosis múltiple	Se caracteriza por la destrucción de la vaina de mielina que recubre a los axones del sistema nervioso central. Esta desmielinización es causada por autoantígenos ubicados en la vaina de mielina que son atacados por autoanticuerpos y macrófagos. Provoca cambios en la conducción del impulso nervioso a través de él y distintos síntomas neurológicos, entre los que se encuentran: hormigueo, pérdida del equilibrio, debilidad en las extremidades, espasmos musculares y anomalías visuales.

Ejercicios

1. ¿Qué deficiencia nutricional provoca el escorbuto?

A. Falta de vitamina C.
B. Carencia de vitamina E.
C. Falta de lípidos.
D. Insuficiencia de hidratos de carbonos.
E. Todas son correctas.

2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es incorrecta?

A. La desnutrición se produce por carencia de nutrientes y calorías.
B. Una persona que padece de bulimia ingiere gran cantidad de comida en forma descontrolada.
C. Una consecuencia de la obesidad es el descenso del metabolismo basal.
D. La anorexia puede provocar amenorrea.
E. Todas son correctas

3. La obstrucción del flujo sanguíneo a través de una arteria puede suspender la irrigación de un tejido. Este cuadro es conocido como:

A. accidente vascular.
B. hipertensión arterial.
C. infarto al miocardio.
D. ateroma.
E. isquemia.

4. El trombo corresponde a:

A. una enfermedad genética.
B. una alteración del ritmo cardíaco.
C. un coágulo sanguíneo que dificulta el paso de la sangre por las arterias.
D. un anticoagulante.
E. un aumento en la presión sanguínea.

5. Es(son) droga(s) ilícita(s) en nuestro país:

A. tabaco.
B. alcohol.
C. éxtasis.
D. antidepresivos.
E. B y C son correctas.

6. ¿Cuál(les) de las siguientes drogas es(son) considerada(s) como depresora(s)?

A. Marihuana.
B. Benzodiacepinas.
C. Alcohol.
D. Éxtasis.
E. Tabaco.

7. La sinapsis química puede alterarse por diversas drogas. Al respecto, ¿qué efecto provoca en la sinapsis, el consumo de cocaína?

A. Bloquea el transportador de dopamina.
B. Inhibe la liberación de neurotransmisores.
C. Induce la hiperpolarización de la neurona.
D. Aumenta la secreción de encefalina.
E. No provoca ningún efecto en la sinapsis.

8. ¿Qué consecuencias puede causar el consumo de alcohol excesivo, en las personas?

A. Estados de ebriedad evidente.
B. Estados de euforia y agresividad.
C. Intoxicación aguda.
D. Paro cardiorrespiratorio.
E. Todas son correctas.

9. Respecto al tabaquismo, es incorrecto afirmar que:

A. el tabaquismo es una adicción.
B. el tabaco contiene componentes químicos nocivos para la salud.
C. no produce fase de tolerancia.
D. una persona fumadora se expone a padecer enfermedades respiratorias y cardiovasculares y desarrollar cáncer.
E. la nicotina es el compuesto causante de la adicción al tabaco.

10. Relacionado con el estrés agudo, podemos señalar que:

A. es una respuesta rápida e intensa.
B. se sostiene por largos períodos de tiempo.
C. puede ser de defensa o adaptación.
D. A y C son correctas.
E. B y C son correctas.

11. ¿Cuál de las siguientes hormonas aumenta su liberación frente a un estímulo estresante?

I. Cortisol.
II. Tiroxina.
III. Adrenalina.
IV. Somatotrofina.

A. I y II
B. I y III
C. II y IV
D. I, II y II
E. Todas son correctas.

12. La diabetes mellitus, se produce por una falla a nivel de:

A. el timo.
B. la corteza renal.
C. los riñones.
D. el páncreas.
E. el bazo.

13. Respecto del bocio, es incorrecto afirmar que:

A. afecta a la glándula tiroides.
B. se caracteriza por un abultamiento en el cuello.
C. puede deberse a la escasez o exceso de yodo en la dieta.
D. se debe a una alteración en la actividad de la hipófisis.
E. se produce por una hiperfunción o hipofunción de la glándula tiroides.

14. Una hipofunción de la glándula tiroides, puede generar:

A. diabetes insípida.
B. cretinismo en la infancia.
C. retención de agua y sales.
D. aumento del metabolismo basal.
E. Ninguna de las anteriores.

15. Las pastillas anticonceptivas producen en la mujer que las consume:

A. aumento de la masa corporal.
B. ciclos menstruales irregulares.
C. disminución de los niveles de FSH y LH.
D. alza brusca de la hormona luteinizante.
E. desarrollo folicular.

16. La modificación de la orientación de un segmento cromosómico respecto de la posición del centrómero, corresponde a una:

A. deleción.
B. inserción.
C. euploidía.
D. duplicación.
E. inversión.

17. El síndrome de Turner es una enfermedad genética producida por:

A. la ausencia de los cromosomas sexuales.
B. la carencia de un cromosoma X.
C. la mutación de un gen ubicado en un cromosoma sexual.
D. la presencia de varias copias del cromosoma X.
E. el estado diploide del cromosoma X.

18. ¿Cuál(es) de la siguientes anormalidades congénitas se debe(n) a la no disyunción del par de cromosomas sexuales?

I. Síndrome de Down.
II. Síndrome de Klinefelter.
III. Daltonismo.
IV. Síndrome de Turner.

A. I y II
B. III y IV
C. II y IV
D. I, II, III
E. Todas son correctas.

19. ¿Qué son los oncogenes?

A. Son protooncogenes mutados que inducen el desarrollo de cáncer.
B. Genes que codifican para proteínas que detienen la división celular.
C. Un tumor maligno.
D. Genes supresores de tumor.
E. Un tumor benigno.

20. ¿Qué rol tiene la apoptosis en el desarrollo del cáncer?

A. Transforma células normales en células neoplásicas.
B. Induce la proliferación celular.
C. Posibilita la formación de un tumor benigno.
D. Facilita la migración de las células cancerosas.
E. Elimina células anormales, que suponen amenaza de cáncer.

21. El proceso mediante el cual las bacterias intercambian material genético uniendo sus membranas plasmáticas, recibe el nombre de:

A. transformación.
B. conjugación.
C. transducción.
D. replicación.
E. Ninguna de las anteriores.

22. Las enfermedades que se transmiten de un individuo a otro por agentes patógenos, se conocen como:

A. enfermedades patógenas.
B. enfermedades virales.
C. enfermedades infectocontagiosas.
D. enfermedades parasitarias.
E. A y B son correctas.

23. Entre las características de los virus, se puede mencionar:

I. poseen una envoltura proteica, llamada cápside.
II. presentan un estado o fase extracelular metabólicamente inerte.
III. se dividen por fisión binaria.

A. Solo I
B. I y II
C. II y III
D. I y III
E. I, II y III

24. Los bacteriófagos presentan dos tipos de ciclos reproductivos, el ciclo lítico y el lisogénico. Al respecto, ¿qué tienen en común ambos ciclos?

I. Producen lisis celular.
II. Hay inducción a profago.
III. Inyectan el ADN viral a la célula infectada.

A. Solo I
B. Solo II
C. Solo III
D. II y III
E. Todas son correctas.

25. ¿Cuál de las siguientes asociaciones ETS-origen está incorrecta?

A. Sífilis – protozoo.
B. Gonorrea – bacteria.
C. Sida – virus.
D. Tricomoniasis – protozoo.
E. Hepatitis B – virus.

26. El virus del sida, se caracteriza por parasitar a los linfocitos T colaboradores, lo que provoca:

A. aumento de la inmunidad celular.
B. disminución de la capacidad defensiva contra los agentes patógenos.
C. aumento de la inmunidad humoral.
D. resistencia a los antibióticos.
E. Todas son correctas.

27. Es característico en el síndrome de inmunodeficiencia adquirida:

I. el contagio por vía aérea.
II. la aparición de infecciones oportunistas.
III. la disminución de los linfocitos T colaboradores.
IV. que aparezcan síntomas transcurrido un tiempo después del contagio.

A. I y II
B. II yIII
C. III y IV
D. II, III y IV
E. Todas son correctas.

28. Los grupos sanguíneos A, B, AB y O, se clasifican de acuerdo a:

A. la presencia de antígenos en la superficie de los glóbulos rojos.
B. la presencia de anticuerpos anti-A y anti-B en el plasma sanguíneo.
C. la presencia de antígenos y anticuerpos en el plasma sanguíneo.
D. A y B son correctas.
E. A y C son correctas.

Solucionario

1. A	**6.** B	**11.** B	**16.** E	**21.** B	**26.** B
2. C	**7.** A	**12.** D	**17.** B	**22.** C	**27.** D
3. E	**8.** E	**13.** D	**18.** C	**23.** B	**28.** D
4. C	**9.** C	**14.** B	**19.** A	**24.** C	
5. C	**10.** D	**15.** C	**20.** E	**25.** A	

Ejercicios de genética*

Transmisión de caracteres mendelianos.

Los siguientes ejercicios tienen por propósito aplicar los conocimientos sobre los principios mendelianos de la transmisión de caracteres hereditarios en los seres vivos, de acuerdo con la teoría cromosómica de la herencia.

1. La mayor parte de las células humanas posee 46 cromosomas. Durante la metafase I de la meiosis de un hombre, el número de cromosomas por célula es:

A. 46 cromosomas.
B. 23 cromosomas.
C. 22 autosomas + 1 cromosoma X.
D. 22 autosomas + 1 cromosoma Y.
E. 21 autosomas + 1 cromosoma X + 1 cromosoma Y.

2. Señale cuál de los siguientes procesos solo ocurre durante la meiosis:

A. formación de cromátidas.
B. formación del huso que une los centrómeros.
C. condensación cromosómica.
D. apareamiento cromosómico.
E. movimiento de los cromosomas hacia los polos celulares.

3. Los loci R y S se encuentran separados a 35 unidades de mapa. Si una planta del genotipo* es autofecundada, los genotipos resultantes son:

A. *RrSs* y *rrss*
B. *RRSS* y *RrSs*
C. *RrSs*
D. *rrSs*
E. *RRss*

* genotipo planta progenitora:

$$\frac{R \quad S}{r \quad s}$$

4. En humanos, el daltonismo, o ceguera para la visión de los colores rojo y verde, es un carácter ligado el cromosoma X. Si un hombre es daltónico, y sus padres tienen visión normal ¿qué abuelo(a) de este hombre es, con mayor probabilidad, daltónico(a)?

A. Abuelo materno.
B. Abuelo paterno.
C. Abuela materna.
D. Abuela paterna.
E. Todos son igualmente probables

5. Plantas de fenotipo heterocigoto para los genes *f* y *g* son sometidas a cruzamiento de prueba. En la descendencia se obtuvieron los individuos señalados en la siguiente tabla:

Genotipos	Número de individuos
GgFf	21
ggff	22
Ggff	22
ggFf	21
ggFf	86

De acuerdo con estos antecedentes, es correcto afirmar:

A. los genes *g* y *f* se encuentran separados a una distancia aproximada de 25 um.
B. los genes *g* y *f* se encuentran separados a una distancia aproximada de 50 um.
C. los genes *g* y *f* se encuentran separados a una distancia aproximada de 75 um.
D. los genes *g* y *f* están ligados.
E. los antecedentes no son suficientes para llegar a una conclusión.

* Ejercicios extraídos de: *Problemas de Genética*. Editorial Universitaria. 1998.

6. En humanos la hemofilia es una enfermedad ligada al cromosoma X. La probabilidad de la descendencia entre una mujer sana y un hombre hemofílico es:

A. ½ hijas sanas, ½ hijos hemofílicos.
B. todos los hijos sanos y todas las hijas son portadoras.
C. ½ hijos sanos, ½ hijos hemofílicos, 100% hijas portadoras.
D. 100% hijas sanas, 100% hijos portadores.
E. 100% hijos sanos, ½ hijas hemofílicas, ½ hijas portadoras.

7. En humanos, los alelos A y B del sistema ABO son codominantes, y el alelo O es recesivo. De acuerdo con esta información, responda: ¿qué fenotipos sanguíneos resultan en la descendencia entre una mujer AB y un hombre O?

A. ½ AB, ½ O
B. ¼ A, ¼ B, ½ O
C. ½ A, ½ B
D. ¼ A, ¼ B, ¼ AB, ¼ O
E. ¼ A, ¼ B, ½ AB

8. La descendencia de un apareamiento entre dos organismos heterocigotos para un locus, tiene una proporción fenotípica de 3:1. Esto significa que:

A. los alelos segregaron durante la meiosis.
B. cada alelo posee dos mutaciones.
C. los alelos son idénticos.
D. los alelos son incompletamente dominantes.
E. solo se registraron los resultados de los alelos recesivos.

9. Es razonable predecir que la mitad de los bebés que nazcan el próximo año en Chile serán niños y la otra mitad niñas, debido a:

A. la segregación de los cromosomas X durante la meiosis.
B. la carga X de todos los óvulos.
C. la condensación de la mitad de los cromosomas X en el embrión.
D. la segregación de los cromosomas X e Y durante la meiosis.
E. la división por mitosis de las células germinales.

10. Una planta posee cuatro pares de cromosomas homólogos (*KK, LL, MM, NN*). Al realizar un autocruzamiento de esta planta, ¿qué configuraciones se encontrarán en dos células somáticas de la progenie resultante?

A. *KLMN, KLMN*
B. *KKLLMMNN, KKLLMMNN*
C. *KL, MN*
D. *KM, LN*
E. *KN, ML*

Solucionario

1. A
2. D
3. C
4. A
5. B
6. B
7. C
8. A
9. D
10. B

Listado de especies amenazadas

Primeras 74 especies amenzadas de Chile y clasificadas bajo la nueva norma legal (Reglamento para la clasificación de las especies silvestres. 2004)

AVES

Nombre común	Nombre científico	Clasificación
Playero ártico.	*Calidris canutus*	En peligro de extinción.
Fardela blanca.	*Puffinus creatopus*	En peligro de extinción.
Pingüino de Humboldt, pingüino, pingüino de Norte, pájaro-niño.	*Spheniscus humboldti*	Vulnerable.
Pingüino de Magallanes, pingüino del sur, pájaro-niño, burro y choncha (sur).	*Spheniscus magellanicus*	Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo.

ANFIBIOS

Nombre común	Nombre científico	Clasificación
Sapo de pecho espinoso de barrio.	*Alsodes barrioi*	Rara y vulnerable.
Sapo de monte.	*Alsodes montanus*	En peligro de extinción.
Sapo de pecho espinoso, sapo popeye, sapo arriero.	*Alsodes nodosus*	En peligro de extinción.
Sapo de pecho espinoso de La Parva.	*Alsodes tumultuosus*	En peligro de extinción y rara.
Sapo de pecho espinoso de Vanzolini.	*Alsodes vanzolinii*	En peligro de extinción.
Sapo de pecho espinoso con verrugas.	*Alsodes verrucosus*	Insuficientemente conocida.
Sapo de pecho espinoso de Malleco.	*Alsodes vittatus*	Insuficientemente conocida y rara.
Sapo de Puerto Edén.	*Atelognathus grandisonae*	Rara.
Rana de ceja, sapito de anteojos.	*Batrachyla taeniata*	Insuficientemente conocida.
Sapo de Atacama, sapo de Vallenar.	*Bufo atacamensis*	Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo.
Sapo de Chile, sapo de rulo, sapo, arunco, sapo meón (en San Antonio)	*Bufo chilensis*	Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo.
Sapo de papilas, sapo de verrugas.	*Bufo papillosus*	Rara.

Nombre común	Nombre científico	Clasificación
Sapo de manchas rojas.	*Bufo rubropunctatus*	Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo.
Sapo espinoso, sapo de rulo.	*Bufo spinulosus*	Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo.
Sapo manchado, sapo de tres rayas, sapo de puerto Edén.	*Bufo variegatus*	Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo.
Rana chilena.	*Caudiverbera caudiverbera*	Vulnerable.
Sapo de Contulmo.	*Eupsophus contulmoensis*	En peligro de extinción.
Sapo de Nahuelbuta.	*Eupsophus nahuelbutensis*	En peligro de extinción y rara.
Sapo de Isla Mocha.	*Eupsophus insularis*	En peligro de extinción y rara.
Sapo de Miguel.	*Eupsophus migueli*	En peligro de extinción y rara.
Sapo rojo, sapo rosado.	*Eupsophus roseus*	Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo.
Sapo terrestre de Valdivia.	*Eupsophus vertebralis*	Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo.
Sapo esmeralda de la selva; rana dorada.	*Hylorina sylvatica*	Insuficientemente conocida (VIII y IX Región).
Sapo esmeralda de la selva; rana dorada.	*Hylorina sylvatica*	Insuficientemente conocida (VIII y IX Región). Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo (para el resto del territorio de distribución).
Sapo de Mehuín.	*Insuetophrynus acarpicus*	En peligro de extinción y rara.
Sapo de cuatro ojos del sur, sapo gris de cuatro ojos.	*Pleurodema bufonina*	Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo.
Sapo de cuatro ojos marmóreo, sapo.	*Pleurodema marmorata*	En peligro de extinción y rara.

ANFIBIOS

Nombre común	Nombre científico	Clasificación
Sapo de cuatro ojos.	*Pleurodema thaul*	Similar a fuera de peligro, pero sin haber estado en alguna categoría anterior de riesgo.
Ranita de Darwin, sapito vaquero, sapito partero, rana narigona.	*Rhinoderma darwinii*	En peligro de extinción (VIII y IX Región). Insuficientemente conocida (X y XI Región).
Sapito vaquero.	*Rhinoderma rufum*	Insuficientemente conocida y rara.
Sapo de Hall.	*Telmatobius halli*	Insuficientemente conocida y rara.
Sapo de pecho espinoso de Potrero.	*Telmatobius laevis*	Insuficientemente conocida y rara.
Sapo peruano.	*Telmatobius peruvianus*	En peligro de extinción y rara.
Sapo de Pefaur.	*Telmatobius pefauri*	En peligro de extinción y rara.
Sapo de Zapahuira.	*Telmatobius zapahuirensis*	En peligro de extinción y rara.
Sapo hermoso	*Telmatobufo venustus*	Insuficientemente conocida y rara.
Sapo Austral.	*Telmatobufo australis*	Vulnerable.
Sapo de Bullock.	*Telmatobufo bullocki*	Vulnerable y rara.

VEGETALES

Nombre común	Nombre científico	Clasificación
Cacto patagónico.	*Austrocactus patagonicus*	En peligro de extinción y rara.
Cacto hiberno.	*Austrocactus philippii*	En peligro de extinción y rara.
Cacto spinifloro.	*Austrocactus spiniflorus*	En peligro de extinción y rara.
Belloto del sur, belloto del centro.	*Beilschmiedia berteroana*	En peligro de extinción y rara.
Michay.	*Berberis negeriana*	En peligro de extinción.
Belloto del norte, belloto.	*Beilschmedia miersii*	Vulnerable.
Sulla-sulla.	*Bomarea involucrosa*	En peligro de extinción y rara.
No posee.	*Bomarea dulcis*	En peligro de extinción y rara.
Tahay, violeta.	*Calydorea xiphioides*	Vulnerable y rara.

Nombre común	Nombre científico	Clasificación
Cacto.	*Copiapoa ahremephiana*	En peligro de extinción y rara.
Cacto.	*Copiapoa aphanes*	En peligro de extinción y rara.
Humildito.	*Copiapoa humilis*	No se puede clasificar.
Cacto bajo tierra.	*Copiapoa hypogaea*	En peligro de extinción y rara.
Cacto raizón.	*Copiapoa megarhiza*	Vulnerable.
No posee.	*Copiapoa montana*	Insuficientemente conocida.
Cacto.	*Copiapoa laui*	En peligro de extinción y rara.
Cacto solar.	*Copiapoa solaris*	En peligro de extinción.
Quisco del desierto.	*Copiapoa taltalensis*	En peligro de extinción.
Dicliptera.	*Dicliptera paposana*	En peligro de extinción.
Quisco de los acantilados.	*Echinopsis bolligeriana*	En peligro de extinción y rara.
Erizo de Krainz.	*Eriosyce islayensis*	Insuficientemente conocida y rara.
Sancave (el fruto).	*Echinopsis ferox*	Rara.
No posee.	*Eriosyce laui*	En peligro de extinción y rara.
Copao, copao de Iquique.	*Eulychnia iquiquensis*	En peligro de extinción (I Región). Vulnerable (II y III Región).
Griselinia de Paposo.	*Griselinia carlomunozi*	En peligro de extinción.
Baylahuén, bailahuén, vai-lahuen, chejchajra.	*Haplopappus baylahuen*	No se ajusta a ninguna categoría de clasificación.
Baylahuén.	*Haplopappus multifolius*	No se ajusta a ninguna categoría de clasificación.
Baylahuén.	*Haplopappus taeda Reiche*	No se ajusta a ninguna categoría de clasificación.
Garra de león, mano de león.	*Leontochir ovallei*	En peligro de extinción y rara.
No tiene.	*Maihueniopsis grandiflora*	En peligro de extinción y rara.
No tiene.	*Maihueniopsis crassispina*	En peligro de extinción.
No tiene.	*Maihueniopsis domeykoensis*	En peligro de extinción y rara.

Índice alfabético de contenidos

Bibliografía

Libros

- Atlas geográfico para la educación. Instituto Geográfico Militar, Chile, 2003.
- Brock. *Biología de los microorganismos*, Editorial Prentice Hall Internacional Ltd. UK, 1998.
- Curtis, H., Barnes, N.S., *Invitación a la Biología*, Editorial Médica Panamericana S.A., 6ª edición, 2005.
- Jimeno, A., Ballesteros, M., Ucedo, L., *Biología Nova*, Editorial Santillana, España, 2000.
- Lewin, R. *Principles of human evolution. A core textbook*. Blackwell Science, England, 1998.
- Solomon, E.P., Berg, L.R., Martin D.W., *Biología*, Editorial McGraw–Hill Interamericana S.A., México, 5ª edición, 2001.
- Tórtora, G. y Grabowsky, S., *Principios de Anatomía y Fisiología*, Editorial Harcourt-Brace, Madrid, 7ª edición, 1998.
- Walker, Laura (editora), *Problemas de genética*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 1998.

Informes

- Catastro y evaluación de recursos vegetacionales y nativos de Chile. 1999. CONAMA-CONAF.
- Encuesta Nacional de Salud MINSAL. 2003.
- Libro rojo de los vertebrados de Chile. CONAF. 1987.
- Séptimo Estudio Nacional de Drogas en la Población General de Chile. 2006. CONACE.
- Sexto Estudio Nacional de Drogas en la Población Escolar de Chile, 8° básico a 4° medio. 2005. CONACE.

Revistas

- Agnew, Neville, and Martha Demas. "Preserving the Laetoli Footprints". *Scientific American*, Septiembre 1998.
- Brunet, M., et al. "A new hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa". *Nature* 418, Julio 2002.
- Chien, K.R. "MicroRNAs and the tell-tale Heart", *Nature* 447: 389-390, 2007.
- Goodman, M. et al. "Molecular evidence on primate phylogeny from DNA sequences". *American Journal of Physical Anthropology*, 1994.
- G. Noe, J. Suvisaari, C. Martin, A. J. Mov-Young, K. Sundaram, S. I. Saleh, E. Quintero, H. B. Croxatto, R. Lähteenmäki. "Gonadotropin and testosterone suppression by 7a-methyl-19-nortestosterone acetate administered by subdermal implant to healthy man". *Human Reproduction* 14 (9) 2200-2206.
- Stringer, C. and P. Andrews. "The Complete World of Human Evolution". Natural History Museum, London, UK, Thames and Hudson Pub. London. 2005.
- Templeton, A. "Genetics and recent human evolution". *Evolution*, vol. 61, Julio 2007.

Sitios web

- http://genome.gov
- http://recursos.cnice.mec.es/biosfera
- http://www.conace.cl
- http://www.conaf.cl
- http://www.conama.cl
- http://www.minsal.cl
- http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/encyclopedia.html
- http://www.puc.cl/sw_educ/biologia/bio100/
- http://www.who.int/es/
- www.talkorigins.org
- www.unaids.org

Agradecimientos

Nuestros agradecimientos a:

- Corporación Nacional Forestal CONAF, por las siguientes fotografías: monito del monte (p. 33), bosque nativo (p. 112), zorro chilote, quillay, rana chilena (p. 113), michay rojo (p. 135).
- Juan Tassara, Aves de Chile, por la fotografía de chincol (p. 50) y tenca (p. 26 y 102).
- NASA-JPL, por la fotografía de meteorito (p. 53).
- Ecosferas ®, por la fotografía de ecosferas (p. 93).
- Empresa Nacional de Electricidad S.A., ENDESA, por la fotografía de la central hidroeléctrica Rapel (p. 132).
- Comité Nacional Pro Defensa de la Flora y Fauna, CODEFF, por la fotografía de loro tricahue (p. 135).
- Museo Antropológico Padre Sebastián Englert, MEPSE, (Isla de Pascua), por la fotgrafía de la planta toromiro (p. 135).
- Servicio Nacional del Consumidor, SERNAC, por la fotografía de la planta de tratamiento de aguas servidas La Farfana (p. 137).
- Cristián Villagra y Renzo Vargas, Escuela de Postgrado, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, por las fotografías de himenóptero (p. 147).
- Ministerio del Interior, por la fotografía del terremoto de Tarapacá, junio de 2005 (p. 158).
- Ministerio de Salud, MINSAL, por la fotografía de prevención de tabaquismo (p. 191), afiche campaña prevención del sida (p. 237).
- Fondo Nacional de la Discapacidad, FONADIS, por la fotografía de mujeres con síndrome de Down (p. 208).
- Clínica Santa María, por la fotografía de radioterapia (p. 213).
- Rocky Mountain Laboratories, por la microfotografía de *Escherichia coli* (p. 220).
- The Centers for Disease Control and Prevention, por la microfotografía del virus de la Hepatitis B (p. 231).

MANUAL ESENCIAL **Santillana**

LENGUA CASTELLANA Y COMUNICACIÓN

LITERATURA

MEDIOS DE COMUNICACIÓN

HISTORIA DEL MUNDO

HISTORIA DE CHILE

GEOGRAFÍA

CIUDADANÍA Y ECONOMÍA

ARITMÉTICA Y ÁLGEBRA

GEOMETRÍA Y TRIGONOMETRÍA

ESTADÍSTICA, PROBABILIDAD Y PRECÁLCULO

BIOLOGÍA I

BIOLOGÍA II

FÍSICA I

FÍSICA II

QUÍMICA

